

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2003年 5月21日

出 願 番 号

Application Number:

特願2003-143485

[ ST.10/C ]:

[ JP2003-143485 ]

出 願 人

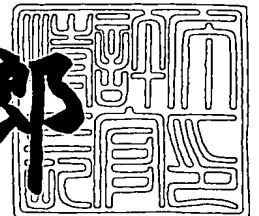
Applicant(s):

アンリツ株式会社

2003年 6月10日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3045237

【書類名】 特許願

【整理番号】 A000302431

【提出日】 平成15年 5月21日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 31/10

【発明の名称】 半導体受光モジュール

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目 1 0 番 2 7 号 アンリツ株式会  
社内

【氏名】 河野 健治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目 1 0 番 2 7 号 アンリツ株式会  
社内

【氏名】 吉田谷 弘明

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目 1 0 番 2 7 号 アンリツ株式会  
社内

【氏名】 平岡 淳

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目 1 0 番 2 7 号 アンリツ株式会  
社内

【氏名】 川面 英司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区南麻布五丁目 1 0 番 2 7 号 アンリツ株式会  
社内

【氏名】 松本 聡

【特許出願人】

【識別番号】 000000572

【氏名又は名称】 アンリツ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100058479

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴江 武彦

【電話番号】 03-3502-3181

【選任した代理人】

【識別番号】 100091351

【弁理士】

【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】

【識別番号】 100088683

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 誠

【選任した代理人】

【識別番号】 100108855

【弁理士】

【氏名又は名称】 蔵田 昌俊

【選任した代理人】

【識別番号】 100075672

【弁理士】

【氏名又は名称】 峰 隆司

【選任した代理人】

【識別番号】 100109830

【弁理士】

【氏名又は名称】 福原 淑弘

【選任した代理人】

【識別番号】 100084618

【弁理士】

【氏名又は名称】 村松 貞男

【選任した代理人】

【識別番号】 100092196

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋本 良郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011567

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9105972

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体受光モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に順次に形成された少なくとも光吸収層と上部クラッド層とを有し、前記基板と前記光吸収層の少なくとも一方の端面に形成された光入射端面から入射した光が前記光吸収層において吸収されることにより生じた電気信号を p 電極及び n 電極から外部に出力する半導体受光素子と、

前記半導体受光素子の前記光入射端面に対して光を斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させる入射光指向装置と、

を具備することを特徴とする半導体受光モジュール。

【請求項 2】 前記入射光指向装置は、前記光を前記光入射端面に対して斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させることにより、前記光の等価屈折率が前記半導体受光素子の前記上部クラッドの屈折率よりも高くなるようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光モジュール。

【請求項 3】 前記入射光指向装置は、前記光を前記光入射端面に対して斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させることにより、前記光の等価屈折率が前記半導体受光素子の前記上部クラッドの屈折率よりも高くなるようにし、

前記半導体受光素子は、前記光吸収層に入射した光について、前記光吸収層の上方にある前記上部クラッドとの界面と平行に伝搬する成分と、前記光吸収層の上方にある界面で反射し前記光吸収層内を斜め方向に伝搬する成分とのうち少なくとも一方を伝搬するようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の半導体受光モジュール。

【請求項 4】 前記半導体受光素子は、前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度を 90 度とすることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一に記載の半導体受光モジュール。

【請求項 5】 前記半導体受光素子は、前記光入射端面と前記光吸収層の下

面とのなす角度を、90度未満で、かつ前記光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度とすることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかーに記載の半導体受光受光モジュール。

【請求項6】 前記半導体受光素子は、前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度を、90度未満で、かつ前記光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度より大きな角度とすることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかーに記載の半導体受光モジュール。

【請求項7】 前記半導体受光素子は、前記上部クラッド層がp型の半導体材料からなることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかーに記載の半導体受光モジュール。

【請求項8】 前記半導体受光素子は、前記上部クラッド層がn型の半導体材料からなることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかーに記載の半導体受光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、入射光指向装置によって入射される光信号を電気信号に変換する半導体受光素子を有する半導体受光モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】

光信号を電気信号に変換する半導体素子で形成された一般的な半導体受光素子の構成を図12に示す斜視図を用いて説明する。

【0003】

$n^+$  - InPからなる基板6上に、 $n$  - InPからなる下部クラッド層5が形成され、この下部クラッド層5に  $i$  - InGaAsからなる光吸収層4、 $p$  - InPからなる上部クラッド層3、 $p^+$  - InGaAsからなるコンタクト層2が形成されている。このコンタクト層2の上面にp電極1が取付けられ、基板6の下面にn電極7が取付けられている。さらに、側面にポリイミド8が形成されている。

## 【 0 0 0 4 】

i - I n G a A s からなる光吸収層 4 と p - I n P からなる上部クラッド層 3 と n - I n P からなる下部クラッド層 5 とは、図 1 2 に示すように、この半導体受光素子の端面の光入射面から内部に入射した光を導波する光導波路を構成している。この光導波路は、光吸収層 4 の屈折率を、上部クラッド層 3 の屈折率、下部クラッド層 5 の屈折率より高く設定し、この光吸収層 4 が入射した光を導波する中心的な役割をするコアとして機能している。ちなみに、メサの幅は  $4 \mu\text{m}$  程度で、長さは  $10 \mu\text{m}$  程度である。

## 【 0 0 0 5 】

このように構成された半導体受光素子においては、入射光は、i - I n G a A s からなる光吸収層 4、p - I n P からなる上部クラッド層 3 及び n - I n P からなる下部クラッド層 5 で構成された光導波路を伝播する間に、光吸収層 4 により吸収され、電気信号に変換される。

## 【 0 0 0 6 】

この時、光はその強度  $I$  が ( 1 ) 式に従って吸収される。

## 【 0 0 0 7 】

$$I = I_0 \exp(-\alpha z) \quad \dots (1)$$

ここで、 $I_0$  は光入射端面での入射光のパワー、 $\alpha$  は吸収係数、 $z$  は光入射端面からの距離である。

## 【 0 0 0 8 】

図 1 3 は、この半導体受光素子の光導波路内を伝搬する光の強度  $I$  と距離  $z$  との関係を示す図である。

## 【 0 0 0 9 】

( 1 ) 式と図 1 3 から理解できるように、光は光導波路内に入射すると指数関数的に減衰する。すなわち、光は、光入射端面から短い距離の間にほとんど吸収され、電流に変換される。

## 【 0 0 1 0 】

図 1 3 の横軸は光入射端面からの距離  $z$  を表し、縦軸は、光吸収層 4 内を伝搬される光の強度すなわち入射された光が光吸収層 4 で吸収されるために生じる電

流の大きさを示している。

【0011】

すなわち、この図13は、光が光吸収層4で吸収されるために生じる電流、あるいはそれによって発生するジュール熱を示している。

光吸収層4内の各点において生じるジュール熱は負荷抵抗を $R$ として $I^2 R$ となるので、入射端面から短い距離の間にほとんど吸収されるということは、この短い距離の間に急激に発熱するとも言える。

【0012】

その結果、入射する光のパワーが大きいと短い距離の間で発生するジュール熱が極めて大きくなり、この半導体受光素子が破壊されてしまうことになる。

【0013】

なお、図12の斜視図では説明を簡単化するために省略したが、実際には光導波路を多モード化するために、通常、光吸収層4の上下にバンドギャップ波長が $1.3\mu\text{m}$ 程度のInGaAsP組成の4元SCH (Separate Confinement Heterostructure) 層が介在されている。

【0014】

そのため、光吸収層4の厚みを $0.6\mu\text{m}$ 、SCH層が上下合わせて $2\mu\text{m}$ 程度とすると、成長すべき結晶の厚みは合計3乃至 $4\mu\text{m}$ と厚くなり、結晶成長そのものにも時間がかかるとともに、メサエッチングなどプロセスも複雑になり、半導体受光素子としての製造上の歩留まりを制限する要因となっている。

【0015】

このような不都合を解消するために、図14及び図15に示すような装荷光導波路型の半導体受光素子が提唱されている。なお、図14は斜視図であり、図15は横断面図である。図14及び図15において、図12に示した半導体受光素子と同一部分には同一符号が付してある。

【0016】

すなわち、図14及び図15に示すように、この装荷光導波路型の半導体受光素子では、 $n^+ - \text{InP}$ からなる基板6上に、装荷光導波路層9が形成されている。この装荷光導波路層9上には、 $i - \text{InGaAs}$ からなる光吸収層4、 $p -$



InPからなる上部クラッド層3、 $p^+$ -InGaAsからなるコンタクト層2が形成されている。このコンタクト層2の上面には、p電極1が取付けられている。また、基板6の下面にn電極7が取付けられている。さらに、上記コンタクト層2、上部クラッド層3、光吸収層4、下部クラッド層5の各側面の一部及びp電極1の下部には、キャパシタンスを減らすためのポリイミド8が形成されている。

## 【0017】

装荷光導波路層9としては、その屈折率が光吸収層4よりも小さく、かつ基板6よりも大きな材料が適しており、例えば、バンドギャップ波長 $1.3\mu\text{m}$ を有するn-InGaAsPなどが使用される。

## 【0018】

このような、装荷光導波路型の半導体受光素子においては、図14及び図15に示すように、外部からの光が装荷光導波路層9の端面に入射される。この装荷光導波路層9内を伝搬する光の一部（エバネッセント波）が、図15の横断面図に示すように、隣接する光吸収層4に染み出して結合（エバネッセント結合）しており、その光の受光感度は、装荷光導波路層9に固有な波動関数 $\phi_s$ と光吸収層4の固有波動関数 $\phi_c$ との重なり積分の絶対値の2乗に比例し、(2)式で表される。

## 【0019】

$$\Gamma = \left| \iint \phi_s \cdot (\phi_c)^* dx dy \right|^2 \quad \dots (2)$$

図16は、光が装荷光導波路層9を伝搬しつつ光吸収層4にエバネッセント結合し、吸収される様子を模式的に示す図である。図16の(a)は、装荷光導波路層9の厚みDが薄い場合（例えば、 $D=0.7\mu\text{m}$ ）を示しており、図16の(b)は、装荷光導波路層9の厚みDが厚い場合（例えば、 $D=3.5\mu\text{m}$ ）を示している。

## 【0020】

図17は、半導体受光素子内を伝搬する光のパワーIを光吸収層4内での距離zの関数として示す図である。図17の(a)は、装荷光導波路層9の厚みDが薄い場合（例えば、 $D=0.7\mu\text{m}$ ）を示しており、図17の(b)は、装荷光

導波路層 9 の厚み  $D$  が厚い場合（例えば、 $D = 3.5 \mu\text{m}$ ）を示している。

#### 【 0 0 2 1 】

図 1 6 の（a）と図 1 7 の（a）とに示す装荷光導波路層 9 の厚み  $D$  が薄い場合には、装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズが小さく、装荷光導波路層 9 を伝搬する光は光吸収層 4 へ強くエバネッセント結合する。別の表現をすると、装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズが小さいため、装荷光導波路層 9 を伝搬する光の波動関数  $\phi_s$  のうち、光吸収層 4 に重なる部分の値が大きくなるので（2）式で示した受光感度も大きくなる。なお、装荷光導波路層 9 の端面に入射する光のスポットサイズは、装荷光導波路層 9 の厚み  $D$  に係わらず等しく設定されている。

#### 【 0 0 2 2 】

その結果、半導体受光素子として要求される受光感度を実現するために必要な光吸収層 4 の長さ  $L_a$  を短くできるものの、図 1 2 に示した半導体受光素子と同様に、短い距離  $z$  において大きなジュール熱が発生し、素子が破壊されることになる。

#### 【 0 0 2 3 】

このジュール熱による素子破壊を避けるには、装荷光導波路層 9 を伝搬する光の光吸収層 4 へのエバネッセント結合の度合いを弱くする、つまり、図 1 6 の（b）と図 1 7 の（b）とに示すように、装荷光導波路層 9 の厚み  $D$  を厚くすることにより、装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズを大きくすればよい。

#### 【 0 0 2 4 】

別の表現をすれば、装荷光導波路層 9 を伝搬する光の波動関数  $\phi_s$  のうち光吸収層 4 に重なる部分の値を小さくすれば良いことになる。

#### 【 0 0 2 5 】

但し、この場合には、（2）式で示した重なり積分の絶対値の 2 乗値  $\Gamma$  も小さくなるので、半導体受光素子として要求される受光感度を実現するために必要な光吸収層 4 の長さ  $L_a$  が長くなってしまう。

#### 【 0 0 2 6 】

この光吸収層 4 の長さ  $L_a$  が長くなるということは、半導体受光素子としてのキャパシタンス  $C$  が大きくなることに対応するので、3 dB 帯域  $\Delta f$  ( $= 1 / (\pi R C)$ ) が小さくなり、この半導体受光素子を 40 Gbps のような高速伝送システムへの適用は困難となる。

## 【 0 0 2 7 】

また、この場合には、装荷光導波路層 9 の厚み  $D$  が厚いので成長すべき半導体層の厚みの総和が厚くなり、結晶成長への負担が著しく大きくなる。一般に、3  $\mu$ m 以上厚く結晶成長すると、結晶成長した半導体層に歪が内在し、その上に成長した光吸収層 4 の膜質が劣化する。この膜質の劣化は、光伝送システムにおいて要求されるきれいなアイパターンを実現するために不可欠な半導体受光素子としての暗電流特性を損なうことが知られている。

## 【 0 0 2 8 】

さらに、装荷光導波路層 9 の厚み  $D$  を厚くし、スポットサイズを大きくすると、コンタクト層 2 に起因する光吸収損を低減するために、上部クラッド層 3 も厚くする必要があり、良好な結晶成長がよりいっそう困難になってしまう。

## 【 0 0 2 9 】

以上のように、図 1 4 及び図 1 5 に示す装荷光導波路型の半導体受光素子においては、高速動作を実現するために、光吸収層 4 の長さ（素子長） $L_a$  が短くなるように装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズを小さくすればジュール熱により素子が破壊されやすくとともに、この熱破壊を避けるために装荷光導波路層 9 を伝搬する光のスポットサイズを大きくすれば、素子長  $L_a$  が長くなる結果、高速動作が困難になるという問題がある。

## 【 0 0 3 0 】

また、この半導体受光素子においては、厚く成長した結晶の上に結晶性の良い暗電流の少ない光吸収層 4 の成長は困難であり、半導体受光素子としての特性が劣化するという問題もある。

## 【 0 0 3 1 】

このような不都合を解消するために、図 1 8 の横断面図で示すような構造を有した端面屈折型の半導体受光素子が提唱されている（特許文献 1）。

## 【0032】

すなわち、図18に示すように、この端面屈折型の半導体受光素子では、半絶縁性InP (SI-IP) 材料で形成された基板11上に、 $n^+$ -InPからなる下部クラッド層10、 $i$ -InGaAsからなる光吸収層4、 $p$ -InPからなる上部クラッド層3、 $p^+$ -InGaAsからなるコンタクト層2が順次に形成されている。そして、このコンタクト層2の上側には、 $p$ 電極1が取付けられている。また、 $n$ -InPからなる下部クラッド層10には、 $n$ 電極が取付けられている。

## 【0033】

そして、この受光素子においては、図18で示したように、基板11と下部クラッド層10との端面で形成される光入射端面12をウェットエッチングにより傾斜させている。なお、光入射端面12の下部クラッド層10の上面（光吸収層4の下面）に対する傾斜角は、エッチングの際に結晶の方位性から約54度となる。

## 【0034】

次に、このような構造を有する端面屈折型の半導体受光素子の動作原理を説明する。入射した光は傾斜した入射端面12において屈折された後、光吸収層4において吸収され、電流に変換される。

## 【0035】

具体的には、この端面屈折型の半導体受光素子の場合、空気（屈折率=1）と $n$ -InPからなる下部クラッド層10（InPの屈折率は3.17であるが、 $n^+$ ドーピングのためにその屈折率は3.15程度に下がる）の屈折率の違いにより光はその光路を斜め上方に変えられる。入射端面12においては、入射光の全パワーは下部クラッド層10あるいは基板11に照射されており、光吸収層4には照射されていないので、入射光の等価屈折率は下部クラッド層10あるいは基板11の屈折率となっている。その結果、入射光の等価屈折率は下部クラッド層10の屈折率よりも高くなることはないので、光は光吸収層4を斜め上方に通過する。

## 【0036】

このように、この端面屈折型の半導体受光素子の場合、光を光吸収層4を斜めに通過させることにより、この光吸収層4を通過する際の実効的な吸収長を長くし、受光感度を高めている。

## 【0037】

実際には光吸収層4を斜め上方に通過した光は、さらに上部クラッド層3とコンタクト層2を斜め上方に伝搬された後、p電極1の下面で反射されることにより、斜め下向きに光路の向きが変えられる。次に、斜め下向きに光路の向きが変えられ光は、再度コンタクト層2と上部クラッド層3を通過後、光吸収層4を斜め下方に通過する。

## 【0038】

ところが、残念ながら、 $p^+$ -InGaAsからなるコンタクト層2において吸収された光は電流に変換されないため、単に光吸収損となってしまう。さらに、p電極1の下面における反射の際、このp電極1の下面の荒れのため光散乱損が生じる。このように、この端面屈折型の半導体受光素子は損失が生じやすく、その結果その受光感度は0.6 A/Wもしくはそれ以下と低く留まっている。

## 【0039】

このような受光感度に関する問題点を解消するために、図19の横断面図で示すような構造を有した半導体受光素子が提唱されている（特許文献2）。

## 【0040】

すなわち、図19に示すように、この半導体受光素子では、半絶縁性InP（SI-IP）材料で形成された基板11上に、InGaAsP層14、n-InGaAsP層13、i-InGaAsからなる光吸収層4、p-InPからなる上部クラッド層3、 $p^+$ -InGaAsからなるコンタクト層2が形成されている。そして、このコンタクト層2の上側には、p電極1が取付けられている。また、n-InGaAsP層13には、n電極7が取付けられている。

## 【0041】

そして、この半導体受光素子においては、InGaAsP層14とn-InGaAsP層13との端面で形成される光入射端面12がウェットエッチングにより傾斜されている。

## 【 0 0 4 2 】

次に、このような構造を有した半導体受光素子の動作原理を図 2 0 を用いて説明する。

## 【 0 0 4 3 】

一般に、 $n$ ドーピングをすると屈折率は低減するが、ここでは、説明を簡単にするために、 $n$ -InGaAsP 層 1 3 の屈折率  $n_{13}$  と InGaAsP 層 1 4 の屈折率  $n_{14}$  は同じ値である ( $n_{13} = n_{14} = 3.439$ ) と仮定し、図 2 0 では  $n$ -InGaAsP 層 1 3 と InGaAsP 層 1 4 を  $n$ -InGaAsP 層 1 3 により代表させている。

## 【 0 0 4 4 】

この半導体受光素子においては、上部クラッド層 3 よりも屈折率が高い InGaAsP 層 1 4 に光の全パワーが入射している。その結果、入射光の等価屈折率は上部クラッド層 3 の屈折率よりも高くなっており、光は  $i$ -InGaAs からなる光吸収層 4 中において吸収されつつ斜め上方に伝搬した後、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 との界面において全反射される。

## 【 0 0 4 5 】

さて、特許文献 2 の第 1 の請求項には「前記下部半導体層側から入射した入射光が、前記光吸収層を膜厚方向に対し斜めに通過し、前記第一の半導体層の前記光吸収層側の界面で全反射し、前記光吸収層を再度斜めに通過することを特徴とする」と記載され、発明の詳細な説明には「100%の光が再度光吸収層を通過し吸収される」、「受光層を光が2回通過することになり、実効的光吸収長が2倍となる」と記載されている。

## 【 0 0 4 6 】

さらに、特許文献 2 に図示された全ての実施形態においても、光は全反射後、斜め下方に伝搬し、光吸収層を通過している。

## 【 0 0 4 7 】

つまり、この半導体受光素子では、図 2 0 に示したように、光は光吸収層 4 中において吸収されつつ斜め上方に伝搬した後、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 の界面においてその 100%の光が反射され、光吸収層 4 を斜め下方に伝搬するこ

どになる。

【0048】

従って、図20から理解できるように、光吸収層4の厚みを $T$ 、光の通過角を $\phi$ とすると、光にとっての実効的な吸収長 $L_e$ は(3)式となる。

【0049】

$$L_e = 2T / \cos \theta = 2T / \cos (\pi / 2 - \phi) \quad \dots (3)$$

つまり、光吸収層4の厚み $T$ を $0.4 \mu\text{m}$ とし、光の通過角 $\phi$ を $25.8^\circ$ とすると、この半導体受光素子においては光の実効的な吸収長 $L_e$ は、光吸収層4の厚み $T$ の4.6倍(なぜならば、 $1 / \cos \theta = 1 / \cos (\pi / 2 - 25.8^\circ) = 2.3$ )程度に留まり、吸収長としては不十分である。

【0050】

また、特許文献2に記載された全ての実施形態の説明図や図19から推測されるように、この半導体受光素子では、光は光吸収層4と上部クラッド層3の界面においてその100%の光が反射され、光吸収層4を斜め下方に伝搬して通過してしまう。

【0051】

したがって、この半導体受光素子では、光吸収層4をある程度の長さ以上にいくら長くしても受光感度は改善されない。

【0052】

さらに、この半導体受光素子では、特許文献2に記載された実施形態から理解できるように、光の全パワーをInGaAsP層14のように屈折率の高い層の中に入射させねばならない。光のスポットサイズ(パワーが $1/e^2$ となる半径)は $2 \mu\text{m}$ から $5 \mu\text{m}$ 、つまりパワーが $1/e^2$ となる直径では $4 \mu\text{m}$ から $10 \mu\text{m}$ と大きい。図14、図15の装荷光導波路型の半導体受光素子で述べたように、厚く成長した結晶の上には、暗電流が少ない結晶性の良い光吸収層を成長することは困難である。

【0053】

また、特許文献2の実施形態に示されているGaAs基板の上に $1.55 \mu\text{m}$ 帯用のInGaAsPやInGaAsを結晶成長した構造を製作するのは、格子

不整合の観点から実際には不可能である。したがって、図 1 9 に示す半導体受光素子は、それを実際に製造することが極めて困難であるという問題点を有している。

【 0 0 5 4 】

【特許文献 1】

特開平 1 1 - 1 9 5 8 0 7 号公報

【 0 0 5 5 】

【特許文献 2】

特開 2 0 0 1 - 5 3 3 2 8 号公報

【 0 0 5 6 】

【発明が解決しようとする課題】

以上説明したように、図 1 2 に示す導波路型の半導体受光素子では、高光入力時の信頼性に問題を有している。

【 0 0 5 7 】

また、図 1 4、図 1 5 に示す装荷光導波路型の半導体受光素子では、高光入力時の信頼性、高速応答性、および光吸収層の結晶性（換言すれば、暗電流特性）にを有している。

【 0 0 5 8 】

さらに、図 1 8、図 1 9 に示す端面屈折型の半導体受光素子では受光感度、あるいは光吸収層の結晶性に問題を有している。

【 0 0 5 9 】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、入射光指向装置により、半導体受光素子の光吸収層内へ入射させる光の伝搬路を調整することによって、光を効率的に光吸収層で電流に変換し得るようにし、半導体受光素子の受光感度、耐光入力性、高速応答性、暗電流特性を大幅に向上可能とした半導体受光モジュールを提供することを目的とする。

【 0 0 6 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明によると、上記課題を解決するために、



(1) 基板上に順次に形成された少なくとも光吸収層と上部クラッド層とを有し、前記基板と前記光吸収層の少なくとも一方の端面に形成された光入射端面から入射した光が前記光吸収層において吸収されることにより生じた電気信号を p 電極及び n 電極から外部に出力する半導体受光素子と、

前記半導体受光素子の前記光入射端面に対して光を斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させる入射光指向装置と、

を具備することを特徴とする半導体受光モジュールが提供される。

#### 【 0 0 6 1 】

このように構成された半導体受光モジュールにおいては、入射光指向装置により、光を半導体受光素子の光入射端面に対して斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させることにより、前記光の等価屈折率が半導体受光素子の上部クラッド層の屈折率よりも高くなるようにすることができる。

#### 【 0 0 6 2 】

これにより、光吸収層内を伝搬した光は光吸収層を通過して突き抜けることなく、光吸収層と上部クラッド層との界面において光吸収層を斜めに伝搬する反射光を生じるため、光吸収層を通過して突き抜けた場合に生じる吸収損や電極の下面における反射の際の光散乱損は生じず、光吸収層において効率の良い電流変換を実現することができる。

#### 【 0 0 6 3 】

また、この半導体受光モジュールでは、入射光指向装置によって半導体受光素子の斜め下から光吸収層の下面の広い領域に渡って光を照射するので、光導波路型の半導体受光素子や、薄い装荷光導波路を有するの装荷光導波路型の素子と異なり、光吸収層のある特定の一部分への電流集中が発生しないので、ジュール熱による半導体受光素子の破壊を未然に避けることが可能となる。

#### 【 0 0 6 4 】

また、この半導体受光モジュールでは、入射光指向装置によって半導体受光素子の斜め下から光のパワーの大きな部分を光吸収層に直接照射することができ、

かつ光の一部を光吸収層に伝搬させ、吸収させるので、厚い装荷光導波路を有する従来の装荷光導波路型の半導体受光素子や従来の端面屈折型の半導体受光素子と比較して、受光感度が高く、結果的に短い光吸収長で済むので、CR時定数から制限される帯域を広くすることができる。

## 【0065】

また、この半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子では、光を吸収する光吸収層の高い屈折率を有効に利用して、入射光の等価屈折率を高めるという簡単な構造であるため、従来の装荷光導波路も不要であり、結晶成長への負担が小さく、半導体受光素子としての製作性が良い。

## 【0066】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(2) 前記入射光指向装置は、前記光を前記光入射端面に対して斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させることにより、前記光の等価屈折率が前記半導体受光素子の前記上部クラッドの屈折率よりも高くなるようにしたことを特徴とする

(1) 記載の半導体受光モジュールが提供される。

## 【0067】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(3) 前記入射光指向装置は、前記光を前記光入射端面に対して斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させることにより、前記光の等価屈折率が前記半導体受光素子の前記上部クラッドの屈折率よりも高くなるようにし、

前記半導体受光素子は、前記光吸収層に入射した光について、前記光吸収層の上方にある前記上部クラッドとの界面と平行に伝搬する成分と、前記光吸収層の上方にある界面で反射し前記光吸収層内を斜め方向に伝搬する成分とのうち少なくとも一方を伝搬するようにしたことを特徴とする(1)記載の半導体受光モジュールが提供される。

## 【0068】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(4) 前記半導体受光素子は、前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度を90度とすることを特徴とする(1)乃至(3)のいずれか一に記載の半導体受光モジュールが提供される。

【0069】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(5) 前記半導体受光素子は、前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度を、90度未満で、かつ前記光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度とすることを特徴とする(1)乃至(3)のいずれか一に記載の半導体受光モジュールが提供される。

【0070】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(6) 前記半導体受光素子は、前記光入射端面と前記光吸収層の下面とのなす角度を、90度未満で、かつ前記光入射端面を構成する材料の結晶方位で定まる角度より大きな角度とすることを特徴とする(1)乃至(3)のいずれか一に記載の半導体受光モジュールが提供される。

【0071】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(7) 前記半導体受光素子は、前記上部クラッド層がp型の半導体材料からなることを特徴とする(1)乃至(6)のいずれか一に記載の半導体受光モジュールが提供される。

【0072】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(8) 前記半導体受光素子は、前記上部クラッド層がn型の半導体材料からなることを特徴とする(1)乃至(6)のいずれか一に記載の半導体受光モジュールが提供される。

【0073】

【発明の実施の形態】

以下図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0074】

## (第 1 実施形態)

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。

【0075】

図 1 において、図 1 2 に示した従来の半導体受光素子と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の詳細説明を省略する。

【0076】

すなわち、図 1 に示すように、この第 1 実施形態に係わる半導体受光モジュールは、後述するように、基板 6 上に順次に形成された少なくとも光吸収層 4 と上部クラッド層 3 とを具備し、前記基板 6 と前記光吸収層 4 の少なくとも一方の端面に形成された光入射端面 1 2 から入射した光が前記光吸収層 4 において吸収されることにより生じた電気信号を p 電極 1 及び n 電極 7 から外部に出力する半導体受光素子 1 0 0 と、この半導体受光素子 1 0 0 の光入射端面 1 2 に対して入射光を斜めに入射させるための入射光指向装置 2 0 0 とから構成されている。

【0077】

ここで、半導体受光素子 1 0 0 は、 $n^+$ -InP からなる基板 6 上に、 $i$ -InGaAs からなる光吸収層 4、 $p$ -InP からなる上部クラッド層 3、 $p^+$ -InGaAs からなるコンタクト層 2 が順次に積層されている。このコンタクト層 2 の上側には、電流を取出すための p 電極 1 が取付けられている。基板 6 の下側には、同じく電流を取出すための n 電極 7 が取付けられている。

【0078】

さらに、この半導体受光素子 1 0 0 は、基板 6 の下側に配置された光入射端面 1 2 に対して光を斜めに入射させるための入射光指向装置 2 0 0 の一部としてのくさび型の台座 1 6 によって、傾斜されている。

【0079】

なお、この半導体受光素子 1 0 0 でも、図 1 2 に示した従来の半導体受光素子と同様に、通常、光吸収層 4 の結晶性を良くするために、光吸収層 4 の下に  $n$ -InP からなる下部クラッド層 5 を成長させているが、ここでは説明を簡単にするために省略されている。また、この半導体受光素子 1 0 0 でも、図 1 2 に示し

た従来の半導体受光素子と同様に、ポリイミド 8 が形成されるが、ここでは説明を簡単にするために省略されている。

#### 【0080】

そして、この半導体受光素子 100 においては、基板 6 と光吸収層 4 の少なくとも 1 つの端面で形成される光入射端面 12 と光吸収層 4 の下面とのなす角度は、90 度に設定されている。具体的には、この光入射端面 12 がへき開で形成されている。

#### 【0081】

さらに、この第 1 実施形態の半導体受光モジュールの半導体受光素子 100 における  $i\text{-InGaAs}$  からなる光吸収層 4 の屈折率 (約 3.6) は、 $p\text{-InP}$  からなる上部クラッド層 3 の屈折率 (3.17) や、 $n^+\text{-InP}$  からなる基板 6 の屈折率 ( $\text{InP}$  の屈折率は 3.17 であるが、正確には  $n^+$  のドーピングのためにその屈折率は 3.15 程度に低下する。しかしながら、ここでは説明を簡単にするために基板 6 の屈折率は 3.17 とする) よりも屈折率が高い。

#### 【0082】

このように構成された第 1 実施形態の半導体受光モジュールの動作原理を図 2、図 3 及び図 4 を用いて説明する。

#### 【0083】

この半導体受光モジュールの半導体受光素子 100 への実際の入射光は、線状ではなく広がりを持っている。図 2 に、光入射端面 12 への光の 3 つの入射状態 (a)、(b)、(c) を示す。入射状態 (a) の場合には、入射光は屈折率が 3.17 と低い基板 6 のみに入射している。入射状態 (b) の場合には、入射光は屈折率が 3.17 と低い基板 6、あるいは屈折率が 3.17 と低い上部クラッド層 3 のみならず、屈折率が約 3.6 と高い光吸収層 4 にも入射している。なお、光吸収層 4 が入射光のスポットサイズに比べて厚い場合には入射光の全てのパワーが光吸収層 4 に入射することもあり得る。入射状態 (c) の場合には、入射光は屈折率が 3.17 と低い上部クラッド層 3 のみに入射している。

#### 【0084】

図 3 は、入射光の中心の位置を変数とした場合における入射光の等価屈折率  $n$

$n_e$  の計算結果を示している。

【0085】

ここで、光吸収層の厚みは  $1\ \mu\text{m}$ 、入射光のスポットサイズは  $2\ \mu\text{m}$  としている。図3からわかるように、図2の入射状態(a)と入射状態(c)のように入射光が光吸収層4に照射されない場合における入射光の等価屈折率  $n_e$  は3.17となり、上部クラッド層3の屈折率と同じになる(なお、 $n^+ - \text{InP}$  からなる基板6におけるnドーピングによる屈折率低減の影響を考慮に入れると、入射光の等価屈折率  $n_e$  は上部クラッド層3の屈折率よりも低くなる)。

【0086】

ところが、入射状態(b)のように、入射光の少なくとも一部が屈折率の高い光吸収層4に照射されるようになると、入射光の等価屈折率  $n_e$  は基板6や上部クラッド層3の屈折率よりも高くなることがわかる。なお、入射光の中心が、光吸収層4の中心に当たった場合には、入射光の等価屈折率  $n_e$  は約3.4にもなる。

【0087】

つまり、図4に示すように入射光の少なくとも一部が光吸収層4に照射され、その高い屈折率を感じると、入射光の等価屈折率  $n_e$  を上部クラッド3の屈折率3.17よりも高くすることができる。

【0088】

さて、図4において、基板6と光吸収層4との界面において成立するスネルの式は

$$n_e \sin \theta_6 = n_4 \sin \theta_4 \quad \dots (4)$$

となる。また、光吸収層4とp-InPクラッド層3との界面において

$$n_4 \sin \theta_4 = n_3 \quad \dots (5)$$

となる。つまり、(5)式を(4)式に代入して得られる

$$n_e \sin \theta_6 = n_3 \quad \dots (6)$$

が成立すれば、その界面において全反射が生じる。その時の上部クラッド層3に対する光の入射角  $\theta_4$  を臨界角と呼ぶ。そのためには、光吸収層4と基板6の屈折率を考慮し、入射光の等価屈折率  $n_e$  が上部クラッド3の屈折率  $n_3$  よりも高

くなるように入射光に光吸収層 4 の高い屈折率を感じさせるとともに、光の光入射端面 1 2 への入射角を適切に選ぶことが重要となる。

【0 0 8 9】

そこで、本発明の半導体受光モジュールでは、半導体受光素子 1 0 0 の光入射端面 1 2 に対して入射光を斜めに入射させるための入射光指向装置 2 0 0 が備えられている。

【0 0 9 0】

上部クラッド 3 や基板 6 と比較して、光吸収層 4 はその屈折率が高く、光を導波する光導波路の機能を有するので、 $\theta_4$  を光の全反射が起こる臨界角とすると水平方向に伝搬する水平伝搬光（導波光）を生じさせることができる。

【0 0 9 1】

また、 $\theta_4$  を光の全反射が起こる臨界角よりも大きくすると、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 との界面において光吸収層 4 を斜めに伝搬する反射光が生じるが、実際には、反射光の他に、水平方向に伝搬する水平伝搬光を生じさせることができる。

【0 0 9 2】

つまり、本実施の形態によれば、入射光指向装置 2 0 0 により、入射光の等価屈折率  $n_e$  が上部クラッド 3 の屈折率  $n_3$  よりも高くなるように、入射光に光吸収層 4 の高い屈折率を感じさせると共に、光吸収層 4 に斜め方向から照射するという簡単な構成をとることにより、光吸収層 4 内を伝搬した光は光吸収層 4 を通過して突き抜けることなく、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 との界面において光吸収層 4 を斜めに伝搬する反射光を生じる。

【0 0 9 3】

そのため、 $p^+ - \text{InGaAs}$  からなるコンタクト層 2 における吸収損や p 電極 1 の下面における反射の際の光散乱損は生じず、光吸収層 4 において効率の良い電流変換を実現することができる。

【0 0 9 4】

さらに、本実施の形態によれば、反射光の他に、水平方向に伝搬する水平伝搬光をも生じさせることができる。これによって光吸収層 4 を伝搬する光は、光吸

収層 4 においてより一層効率よく吸収され、電流に変換される。

【0095】

図 5 は、第 1 実施形態の半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子として試作した 4 個の半導体受光素子における特性の測定結果を示している。図 5 において、縦軸は測定された受光感度 ( $A/W$ ) であり、横軸は光吸収層 4 の長さである。

【0096】

この図 5 からわかるように、光吸収層 4 の長さが  $30\ \mu\text{m}$  以上でも受光感度が改善されている。なお、試作した 4 個の半導体受光素子は、それらの光吸収層 4 の厚み  $T$  は  $1.0\ \mu\text{m}$  であり、 $n\text{-InGaAsP}$  光導波路層 15 の厚み  $D$  が  $2.0\ \mu\text{m}$  である。また、水平からの光の入射角は  $40^\circ$  である。この場合の入射光の等価屈折率  $n_e$  は 3.3 である。

【0097】

図 6 に示すように、光吸収層 4 の下端近傍から光が入射した場合に光吸収層 4 と上部クラッド層 3 との界面で光が 1 回反射した後、光吸収層 4 を抜けてしまうと仮定した場合の光吸収層 4 の長さ  $L_{\text{max}}$  は  $20\ \mu\text{m}$  よりかなり短い。ところが、前述のように光吸収層 4 の長さが  $30\ \mu\text{m}$  以上でも受光感度が改善されている。

【0098】

このことは、光吸収層 4 と上部クラッド層 3 との界面で反射された光成分以外に、光吸収層 4 の長さ方向に伝搬する光の成分があり、それが光吸収層 4 で吸収されるためであると考えられる。

【0099】

このように、第 1 実施形態の半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子 100 では、図 19 に示した従来の半導体受光素子と異なり、半導体受光素子 100 としての帯域の許す限り、光吸収層 4 の長さを長くすることにより受光感度を高めることが可能である。

【0100】

また、この半導体受光モジュールでは、入射光指向装置 200 によって半導体



受光素子 1 0 0 の斜め下から光吸収層 4 の下面の広い領域に渡って光を照射するので、図 1 2 に示した従来の光導波路型の半導体受光素子や、図 1 4 に示した薄い装荷光導波路 9 を有する従来の装荷光導波路型の素子と異なり、光吸収層 4 のある特定の一部分への電流集中が発生しない。その結果、ジュール熱による半導体受光素子の破壊を未然に避けることが可能となる。

## 【 0 1 0 1 】

また、この半導体受光モジュールでは、入射光指向装置 2 0 0 によって半導体受光素子 1 0 0 の斜め下から光のパワーの大きな部分を光吸収層 4 に直接照射することができ、かつ光の一部を光吸収層 4 に伝搬させ、吸収させるので、図 1 7 に示した厚い装荷光導波路を有する従来の装荷光導波路型の半導体受光素子や図 1 8、図 1 9 に示した従来の端面屈折型の半導体受光素子と比較して、受光感度が高く、結果的に短い光吸収長で済むので、C R 時定数から制限される帯域を広くすることができる。

## 【 0 1 0 2 】

また、この半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子 1 0 0 では、光を吸収する光吸収層 4 の高い屈折率を有効に利用して、入射光の等価屈折率を高めるという簡単な構造であるため、図 1 7 に示した従来の装荷光導波路 9 も不要であり、結晶成長への負担が小さく、半導体受光素子としての製作性が良い。なお、以下に述べる全ての実施形態の半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子においてもこれらの特長を有している。

## 【 0 1 0 3 】

さらに、図 1 に示したように、上部クラッド層 3 と光吸収層 4 の界面において斜め下向きに反射された光は、屈折率の高い光導波路層 1 5 と屈折率の低い基板 1 1 の界面において再度斜め上向きに反射され、光吸収層 4 において再度吸収されることを繰り返し、受光感度の向上に寄与する。なお、以下に記述する全ての各実施形態の半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子においてもこれらの特長を有している。

## 【 0 1 0 4 】

(第 2 実施形態)

図 7 は、本発明の第 2 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。図 7 において、図 1 に示した本発明の第 1 実施形態による半導体受光モジュールと同一部分には同一符号を付して、重複する部分の説明を省略する。

#### 【0105】

この第 2 実施形態の半導体受光モジュールにおいては、図 1 に示した第 1 実施形態の入射光指向装置 200 としての台座 16 の代わりに、入射光指向装置 200 として半導体受光素子 100 を水平に保持する筐体 17 を設け、光ファイバ 18 から基板 6 と光吸収層 4 の少なくとも 1 つの端面で構成される光入射端面 12 に光を傾斜させて入射させている。

#### 【0106】

このように構成された半導体受光モジュールにおいて、入射光指向装置 200 の光ファイバ 18 から半導体受光素子 100 の光入射端面 12 に入射した光は、この光入射端面 12 で屈折され、光吸収層 4 に斜め下から入射し、この光吸収層 4 で吸収される。

#### 【0107】

この第 2 実施形態の半導体受光モジュールにおいても、入射光指向装置 200 によって入射光の少なくとも一部を半導体受光素子 100 の光吸収層 4 に照射させ、入射光の等価屈折率  $n_e$  を光吸収層 4 の上にある上部クラッド 3 の屈折率  $n_3$  よりも高くすることにより、上部クラッド 3 と光吸収層 4 との界面において光を反射させる、あるいは入射光の一部の光もしくは全部の光を光吸収層 4 に水平に伝搬させている。

#### 【0108】

従って、この実施形態の半導体受光モジュールにおいても、光の反射や光の水平方向の伝搬を利用するので、半導体受光素子 100 の実効的な吸収長は長くなり、半導体受光素子としての感度を大幅に改善することができる。

#### 【0109】

#### (第 3 実施形態)

図 8 は本発明の第 3 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す

横断面図である。図 8 において、図 7 に示した本発明の第 2 実施形態による半導体受光モジュールと同一部分には同一符号を付して、重複する部分の説明を省略する。

#### 【0 1 1 0】

この第 3 実施形態の半導体受光モジュールにおいては、図 7 に示した第 2 実施形態の半導体受光モジュールにおける入射光指向装置 2 0 0 としての筐体 1 7 と基板 6 との間にくさび型の台座 1 6 を介在させて、半導体受光素子 1 0 0 の光入射端面 1 2 を傾斜させている。

#### 【0 1 1 1】

このように、入射光指向装置 2 0 0 によって半導体受光素子 1 0 0 の光入射端面 1 2 を傾斜させることにより、光ファイバ 1 8 から出力される入射光と半導体受光素子 1 0 0 の入射端面 1 2 とのなす角度が小さくなり、当該角度を所望の角度にすることが容易に実現できるという利点を得られる。

#### 【0 1 1 2】

この第 3 実施形態の半導体受光モジュールにおいても、入射光指向装置 2 0 0 によって入射光の少なくとも一部を半導体受光素子 1 0 0 の光吸収層 4 に照射させ、入射光の等価屈折率  $n_e$  を光吸収層 4 の上にある上部クラッド 3 の屈折率  $n_3$  よりも高くすることにより、上部クラッド 3 と光吸収層 4 との界面において光を反射させる、あるいは入射光の一部の光もしくは全部の光を光吸収層 4 に水平に伝搬させている。

#### 【0 1 1 3】

従って、この実施形態の半導体受光モジュールにおいても、光の反射や光の水平方向の伝搬を利用するので、半導体受光素子 1 0 0 の実効的な吸収長は長くなり、半導体受光素子としての感度を大幅に改善することができる。

#### 【0 1 1 4】

#### (第 4 実施形態)

図 9 は、本発明の第 4 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。図 9 において、図 1 に示した本発明の第 1 実施形態による半導体受光モジュールと同一部分には同一符号を付して、重複する部分の説明を省

略する。

#### 【0115】

この第4実施形態の半導体受光モジュールにおいては、半導体受光素子100の基板6と光吸収層4の少なくとも1つの端面を含む光入射端面12を図18、図19に示した従来の半導体受光素子と同様に、ウェットエッチングで形成している。従って、半導体受光素子100の光入射端面12と光吸収層4の下面とのなす角度は、結晶方位で定まる約54度である。さらに、半導体受光素子100の光吸収層4への小さな入射角を実現するために、入射光指向装置200としての台座16を用いて半導体受光素子100全体を傾斜させている。

#### 【0116】

この第4実施形態の半導体受光モジュールにおいても、入射光指向装置200によって入射光の少なくとも一部を半導体受光素子100の光吸収層4に照射させ、入射光の等価屈折率 $n_e$ を光吸収層4の上にある上部クラッド3の屈折率 $n_3$ よりも高くすることにより、上部クラッド3と光吸収層4との界面において光を反射させる、あるいは入射光の一部の光もしくは全部の光を光吸収層4に水平に伝搬させている。

#### 【0117】

従って、この実施形態の半導体受光モジュールにおいても、光の反射や光の水平方向の伝搬を利用するので、半導体受光素子100の実効的な吸収長は長くなり、半導体受光素子としての感度を大幅に改善することができる。

#### 【0118】

#### (第5実施形態)

図10は、本発明の第5実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。図10において、図1に示した本発明の第1実施形態による半導体受光モジュールと同一部分には同一符号を付して、重複する部分の説明を省略する。

#### 【0119】

この第5実施形態の半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子100においては、基板6と光吸収層4の少なくとも1つの端面を含む光入射端面12を図

9に示した第4実施形態の半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子と同様に、ウェットエッチングで形成している。しかし、この第5実施形態においては、このウェットエッチングの時間を規定よりも短く設定している。

#### 【0120】

従って、半導体受光素子100の光入射端面12と光吸収層4の下面とのなす角度は、90度未満でかつ結晶方位で定まる約54度より大きな角度である。なお、90度より大きな角度は結晶方位を選択することによっても実現できる。その結果、図9の第4実施形態では必要であった入射光指向装置200としての台座16が不要となり、それだけ実装が容易となる。

#### 【0121】

さらに、この第4実施形態の半導体受光モジュールにおいても、入射光指向装置200によって入射光の少なくとも一部を半導体受光素子100の光吸収層4に照射させ、入射光の等価屈折率 $n_e$ を光吸収層4の上にある上部クラッド3の屈折率 $n_3$ よりも高くすることにより、上部クラッド3と光吸収層4との界面において光を反射させる、あるいは入射光の一部の光もしくは全部の光を光吸収層4に水平に伝搬させている。

#### 【0122】

従って、この半導体受光モジュールにおいても、光の反射や光の水平方向の伝搬を利用するので、半導体受光素子100の実効的な吸収長は長くなり、半導体受光素子としての感度を大幅に改善することができる。

#### 【0123】

#### (第6実施形態)

図11は、本発明の第6実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。図11において、図8に示した本発明の第3実施形態による半導体受光モジュールと同一部分には同一符号を付して、重複する部分の説明を省略する。

#### 【0124】

この第6実施形態の半導体受光モジュールでは、入射光を半導体受光素子100に入射させるための入射光指向装置200としてのレンズホルダ20にレンズ

21が固定されており、光ファイバ18はホルダ22の中に入っている。本来は、光ファイバ18はフェルールに固定した後、ホルダ22に入れられるが、説明の簡単のためここではフェルールを省略している。このような第6実施形態の半導体受光モジュールでは、入射光指向装置200としてのレンズホルダ20とフェルール、すなわち光ファイバ18の相対的な位置関係を設定することにより、入射光が半導体受光素子100の入射端面12に入射する際の位置と傾きの少なくとも一方を調整できるので、ひいては入射光を効率良く光吸収層4に照射させることができる。

## 【0125】

なお、本実施形態は、図8に示した第3の実施形態を応用したが、入射光指向装置200としての台座16を用いない実施形態を含め他の実施形態にも応用できることは勿論である。

## 【0126】

さらに、以上において説明した実施形態では、光吸収層4と上部クラッド層3の界面において光が反射あるいは水平伝搬されたとしたが、発生したキャリアが無駄になるコンタクト層2に光が入射する前に反射あるいは水平伝搬されるような層構成であれば本発明の実施例と考えられる。

## 【0127】

このような層構成の一例としては、光吸収層4の上にp-InGaAsP（あるいはi-InGaAsP、p-InGaAlAsやi-InGaAlAs）のように屈折率がInPよりも高い層を形成し、その上にp-InPを形成した構造が考えられる。この場合には光吸収層4の上に形成した屈折率がInPよりも高い層が光導波路としての役目を果たすため、本発明のより一層の効果を期待できる。

## 【0128】

また、入射光と光入射端面12とのなす角度についても、各実施形態の半導体受光素子100で説明した数値のみでなく、本発明の原理が成り立つ限り、その他の角度でも良いことは言うまでもない。

## 【0129】

なお、以上の実施形態においては光吸収層 4 の下に  $n\text{-InP}$  クラッド層がないと仮定したが、これは説明を簡単にするためであり、光吸収層 4 の下に  $n\text{-InP}$  クラッド層があっても勿論差し支えない。また、光吸収層 4 の下に  $n\text{-InP}$  クラッド層をあらかじめ成長しておけば、これがバッファの役目をするので光吸収層 4 の結晶性が改善される。

## 【0130】

また、上述した各実施形態においては、光を半導体受光素子に結合（入射）させるには、先球ファイバ、平面ファイバなどの他、レンズ系を用いても良いことは言うまでもないし、使用波長は  $1.55\mu\text{m}$  のみでなく、その他の波長でも良いことは言うまでもない。光吸収層 4 の材料としては  $p\text{-InGaAs}$  の他、 $p\text{-InGaAsP}$ 、 $p\text{-InGaAlAs}$  などの 4 元混晶のほか、各種多重量子井戸でも良いことは言うまでもない。

## 【0131】

さらに、本発明では、光入射端面 12 への入射光の一部が光吸収層 4 の上の  $p\text{-InP}$  からなる上部クラッド層 3 に照射されても良いことは勿論である。

## 【0132】

上述した各実施形態においては、光吸収層 4 がハイメサ構造となっているが、半絶縁性  $\text{InP}$  や  $pn$  埋め込みの構造としても良いし、基板 6 としては主に  $n^+\text{-InP}$  を想定して説明したが、勿論半絶縁性  $\text{InP}$  を用いても良い。

## 【0133】

さらに、本発明はアバランシェフォトダイオードにも適用できる。また、 $\text{Zn}$  などにより  $p$  型のドーピングを拡散により形成するようにしても良い。

## 【0134】

また、本発明の第 1 実施形態の説明のように、これまでの説明においては入射光は、入射光指向装置 200 によって半導体受光素子 100 の斜め下から光入射端面 12 に入射させる場合が多かったが、入射光指向装置 200 によって半導体受光素子 100 の斜め上方から光入射端面 12 に入射させるようにしても本発明の効果を発揮できることは言うまでもない。

## 【0135】

また、本発明の半導体受光素子 1 0 0 としては、高濃度の n タイプの半導体は屈折率がやや小さくなることを利用して、光吸収層 4 の上に n 型もしくは  $n^+$  型の半導体層を形成し、光吸収層 4 の下に p 型もしくは  $p^+$  型の半導体層を形成すれば本発明の効果をより発揮できる。例えば、光吸収層 4 の上に  $n^+ - \text{InP}$  クラッド層を形成することが考えられる。さらに、 $p^+ - \text{InP}$  基板を使用しても良い。

## 【 0 1 3 6 】

一般に、オーミックコンタクトを実現する際のアロイ化のために、 $p^+ - \text{InGaAs}$  コンタクト層 2 は結晶性が劣化するとともに、p 電極 1 と  $p^+ - \text{InGaAs}$  コンタクト層 2 の界面も平滑性が極めて悪い。

## 【 0 1 3 7 】

ところが、本発明では入射光指向装置 2 0 0 によって半導体受光素子 1 0 0 の下側から斜め上に向かって伝播する光を半導体受光素子 1 0 0 の半導体層の界面において反射あるいは水平伝搬させており、基本的に、光はこれらコンタクト層 2 や p 電極 1 とコンタクト層 2 の界面には達しないので光電変換に寄与しないキャリアや光の散乱損失を生じることがなく、光電変換の効率が極めて良い。

## 【 0 1 3 8 】

なお、入射光指向装置 2 0 0 によって半導体受光素子 1 0 0 の斜め下から斜め上方に向かって伝搬する光のごく一部が  $p - \text{InP}$  クラッド層 3 側に染み出しているも本発明の範囲内と考えられる。

## 【 0 1 3 9 】

さらに、これまでの各実施形態の構造を上下逆にしても本発明として機能することは言うまでもない。

## 【 0 1 4 0 】

以上説明したように、本発明の半導体受光モジュールにおいては、入射光を半導体受光素子に入射させるための入射光指向装置により、半導体受光素子の屈折率が高い光吸収層の少なくとも一部に、角度を調整して入射光を照射させることによって、入射光の等価屈折率を上部クラッド層よりも高くし、光吸収層内を伝搬した光に光吸収層と上部クラッド層との界面において全反射を生じさせるよう



にしている。

【 0 1 4 1 】

従って、本発明の半導体受光モジュールにおいては、半導体受光素子に入射した光は、光吸収層の一部に集中することなく、光吸収層の広い範囲に亘って直接効率的に吸収され電流に変換されることになり、半導体受光素子の受光感度、耐光入力性、高速応答性、暗電流特性を大幅に向上させることができる。

【 0 1 4 2 】

【発明の効果】

従って、以上説明したように、本発明によれば、入射光指向装置により、半導体受光素子の光吸収層内へ入射させる光の伝搬路を調整することによって、光を効率的に光吸収層で電流に変換し得るようにし、半導体受光素子の受光感度、耐光入力性、高速応答性、暗電流特性を大幅に向上可能とした半導体受光モジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。

【図 2】

図 2 は、図 1 の半導体受光素子の動作を説明するために示す図である。

【図 3】

図 3 は、図 1 の半導体受光素子の受光感度特性を示す図である。

【図 4】

図 4 は、図 1 の半導体受光素子の他の動作を説明するために示す図である。

【図 5】

図 5 は、第 1 実施形態の半導体受光モジュールに用いる半導体受光素子として試作された 4 個の半導体受光素子における特性の測定結果を示す図である。

【図 6】

図 6 は、図 1 の半導体受光素子において、光吸収層の下端近傍から光が入射した場合に光吸収層と上部クラッド層との界面で光が 1 回反射した後、光吸収層を

抜けてしまうと仮定した場合を示す図である。

【図 7】

図 7 は、本発明の第 2 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。

【図 8】

図 8 は、本発明の第 3 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。

【図 9】

図 9 は、本発明の第 4 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。

【図 1 0】

図 1 0 は、本発明の第 5 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。

【図 1 1】

図 1 1 は、本発明の第 6 実施形態に係わる半導体受光モジュールの概略構成を示す横断面図である。

【図 1 2】

図 1 2 は、従来の半導体受光素子の概略構成を示す斜視図である。

【図 1 3】

図 1 3 は、図 1 2 の半導体受光素子の問題点を説明するための図である。

【図 1 4】

図 1 4 は、他の従来の半導体受光素子の概略構成を示す斜視図である。

【図 1 5】

図 1 5 は、図 1 4 の半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。

【図 1 6】

図 1 6 の ( a ) 、 ( b ) は、図 1 4 の半導体受光素子の動作を説明するための図である。

【図 1 7】

図 1 7 の ( a ) 、 ( b ) は、図 1 4 の半導体受光素子の動作特性を示す図であ

る。

【図 1 8】

図 1 8 は、従来のさらに別の半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。

【図 1 9】

図 1 9 は、従来のさらに別の半導体受光素子の概略構成を示す横断面図である。

【図 2 0】

図 2 0 は、図 1 9 の半導体受光素子の動作を説明するために示す図である。

【符号の説明】

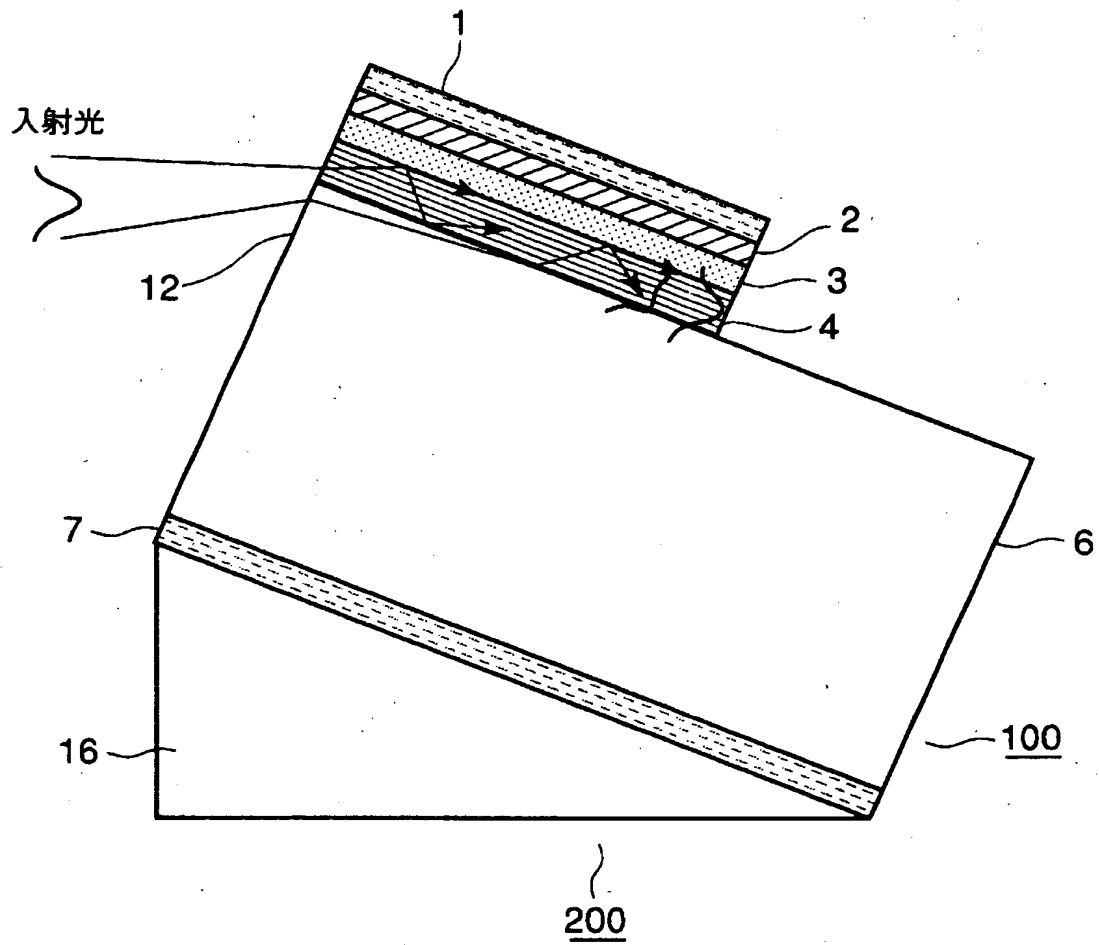
- 1 0 0 … 半導体受光素子、
- 2 0 0 … 入射光指向装置、
- 1 … p 電極、
- 2 … コンタクト層、
- 3 … 上部クラッド層、
- 4 … 光吸収層、
- 5、1 0 … 下部クラッド層、
- 6、1 1 … 基板、
- 7 … n 電極、
- 8 … ポリイミド、
- 9 … 装荷光導波路、
- 1 2 … 光入射端面、
- 1 3 … n - I n G a A s P 層、
- 1 4 … I n G a A s P 層、
- 1 6 … 台座、
- 1 7 … 筐体、
- 1 8 … 光ファイバ、
- 2 0 … レンズホルダ、
- 2 1 … レンズ、

2 2 …ホルダ。

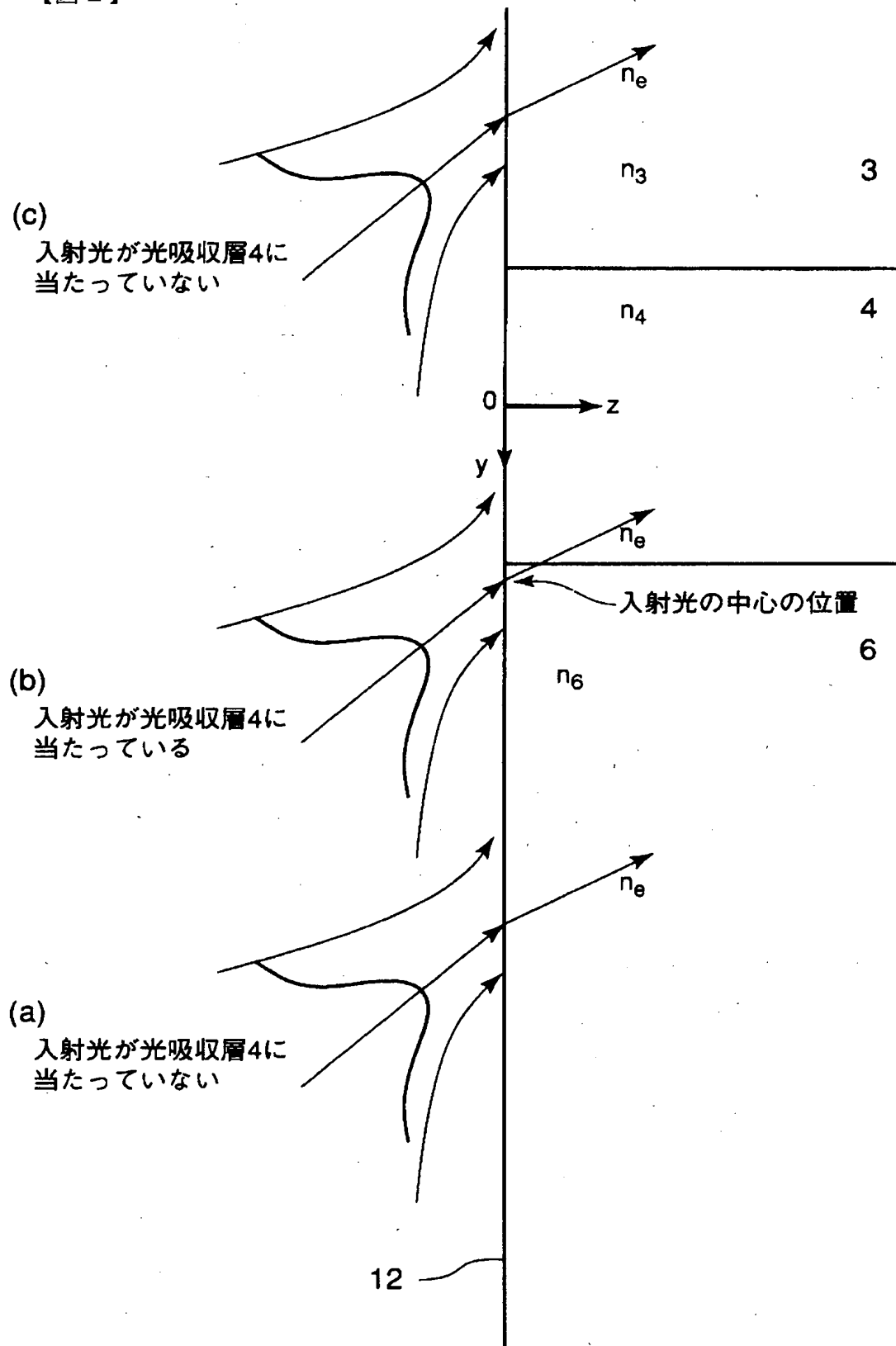
【書類名】

図面

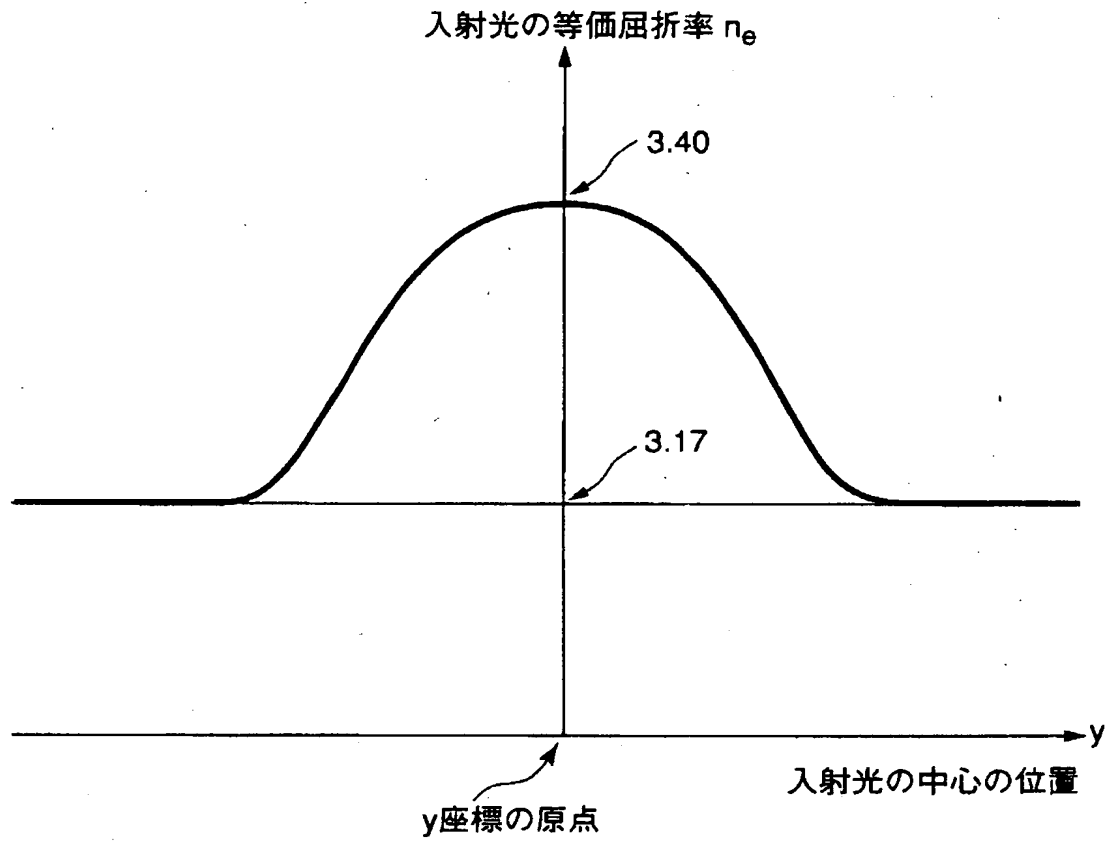
【図 1】



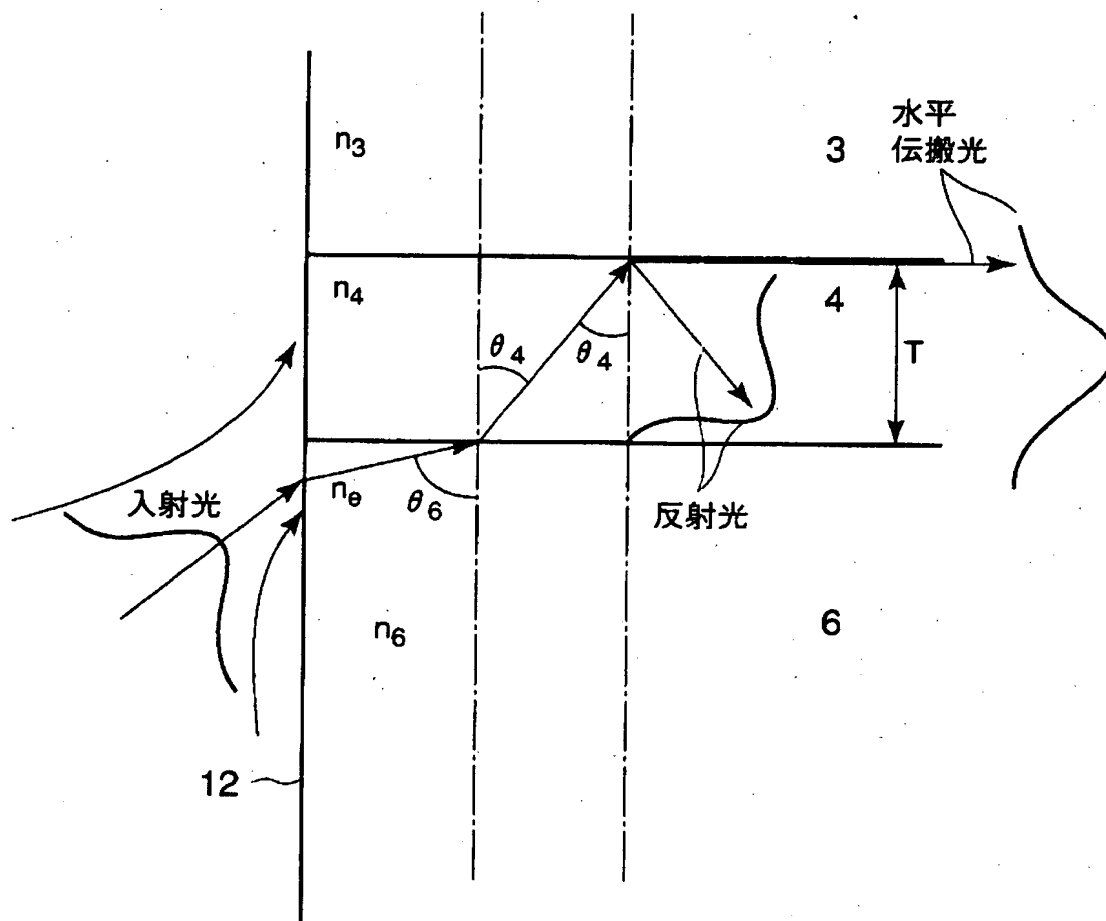
【図 2】



【図 3】

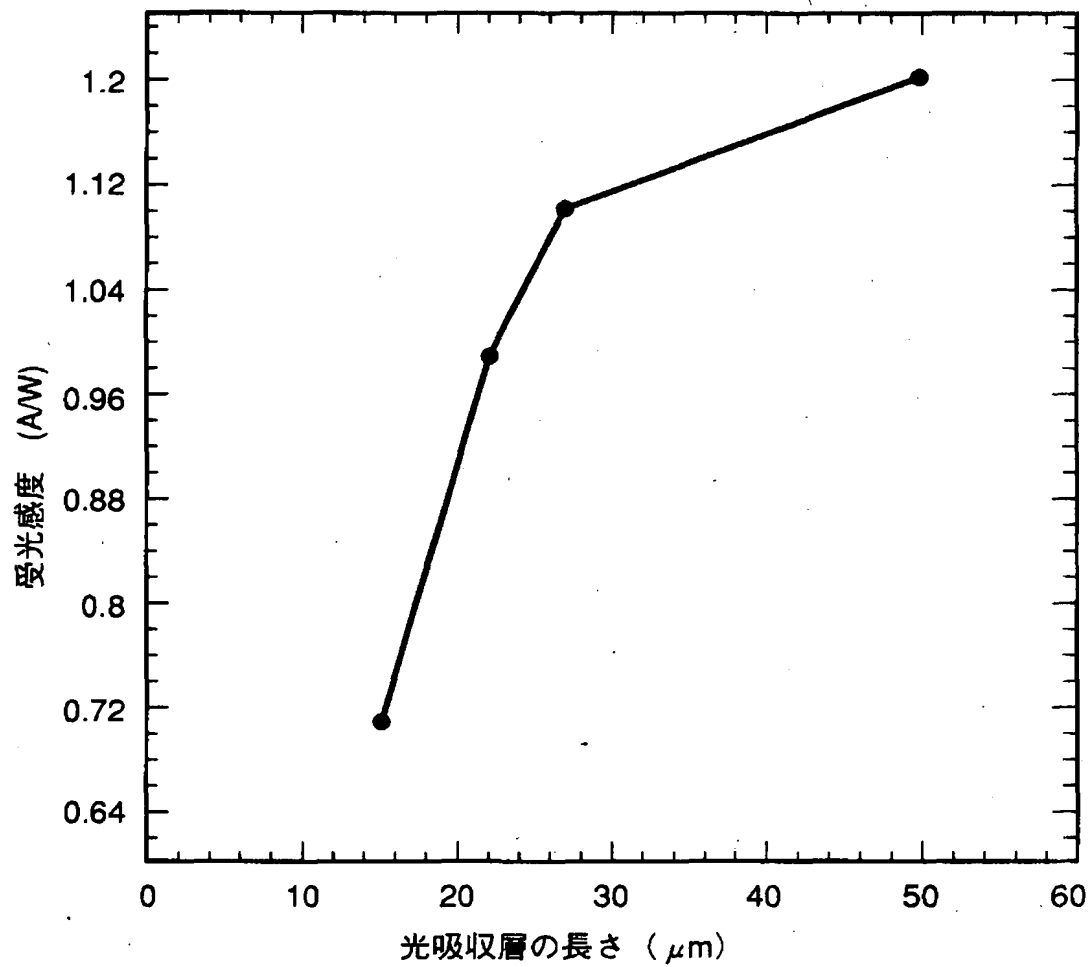


【図4】

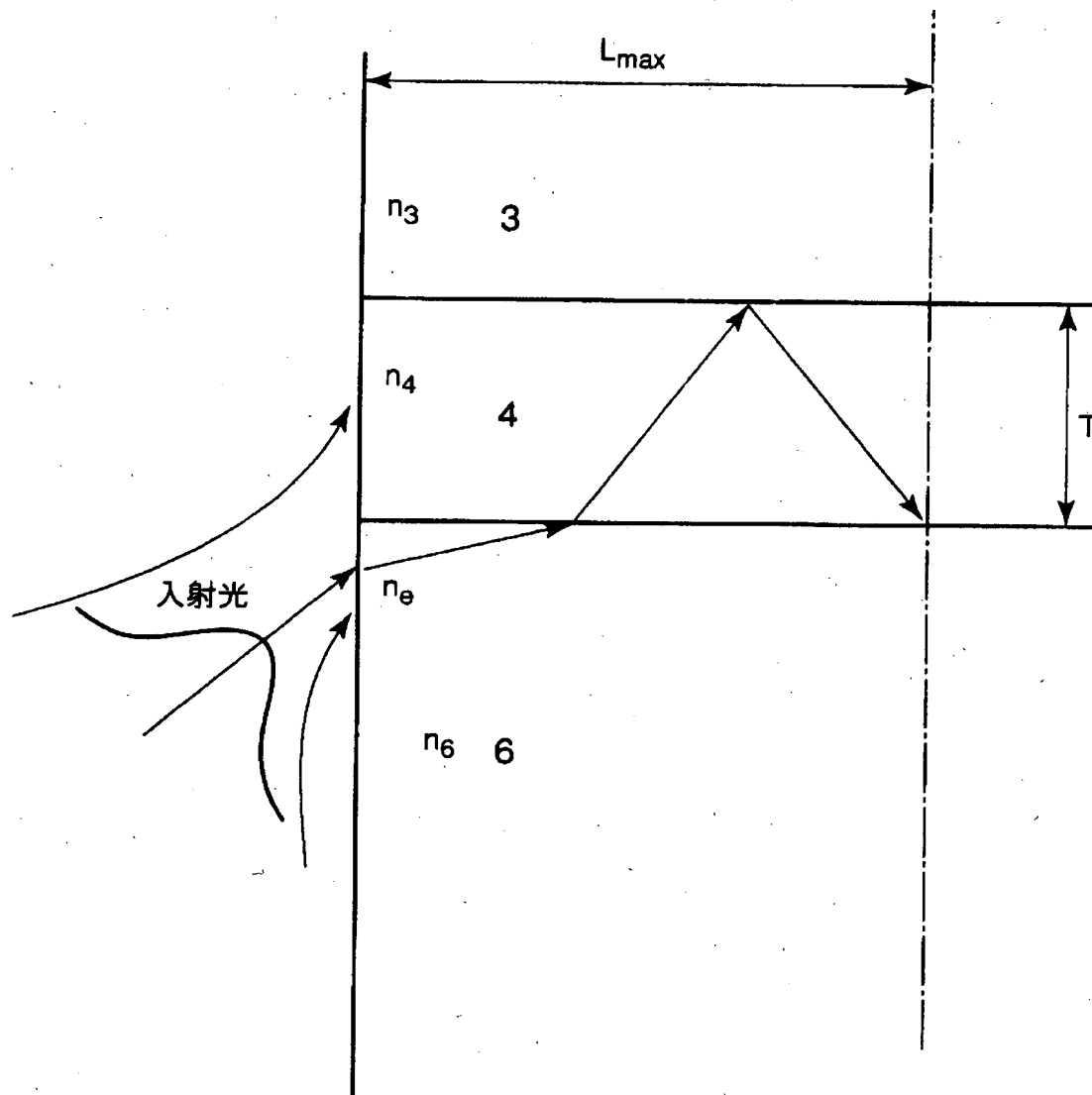




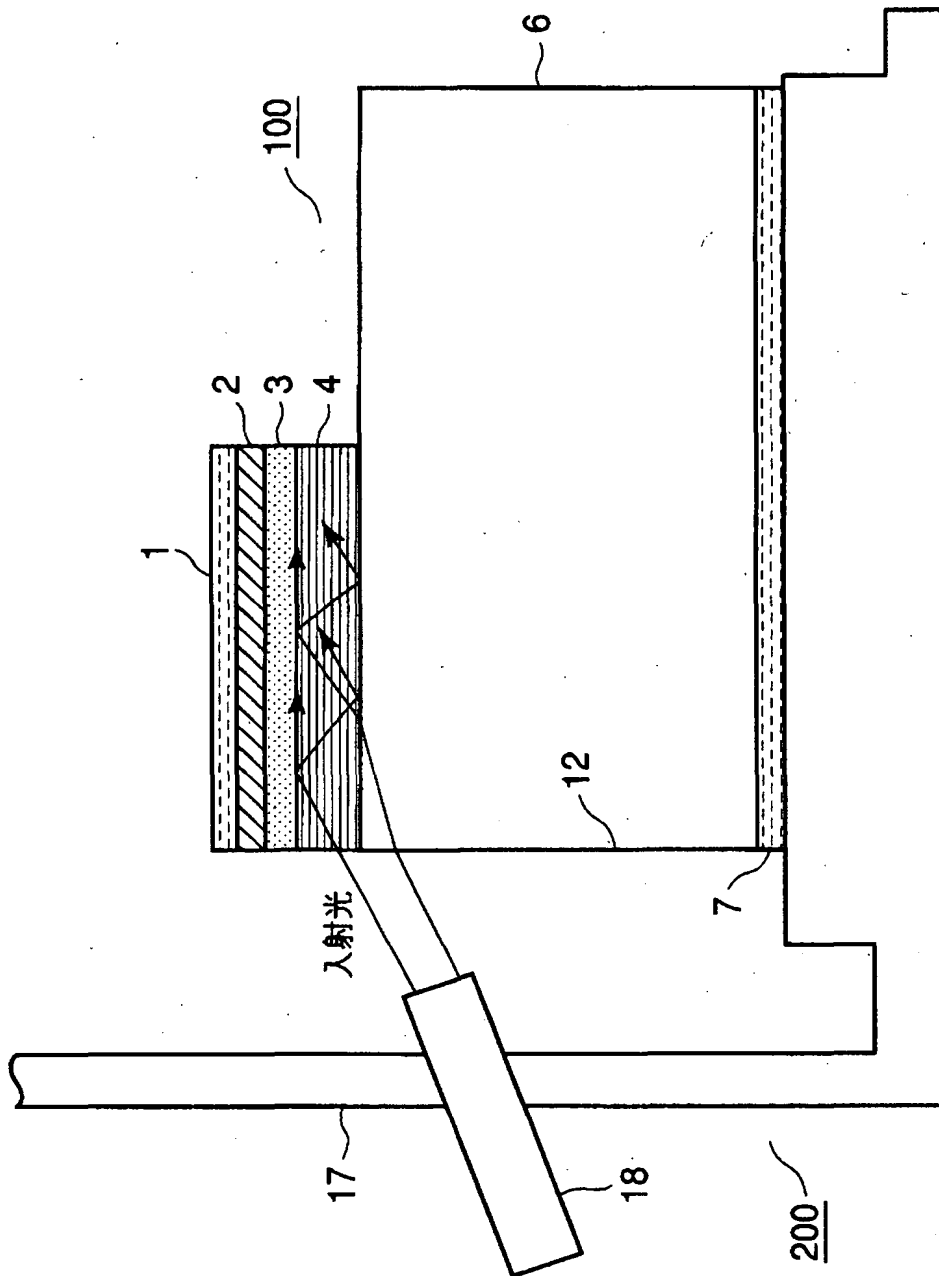
【図 5】



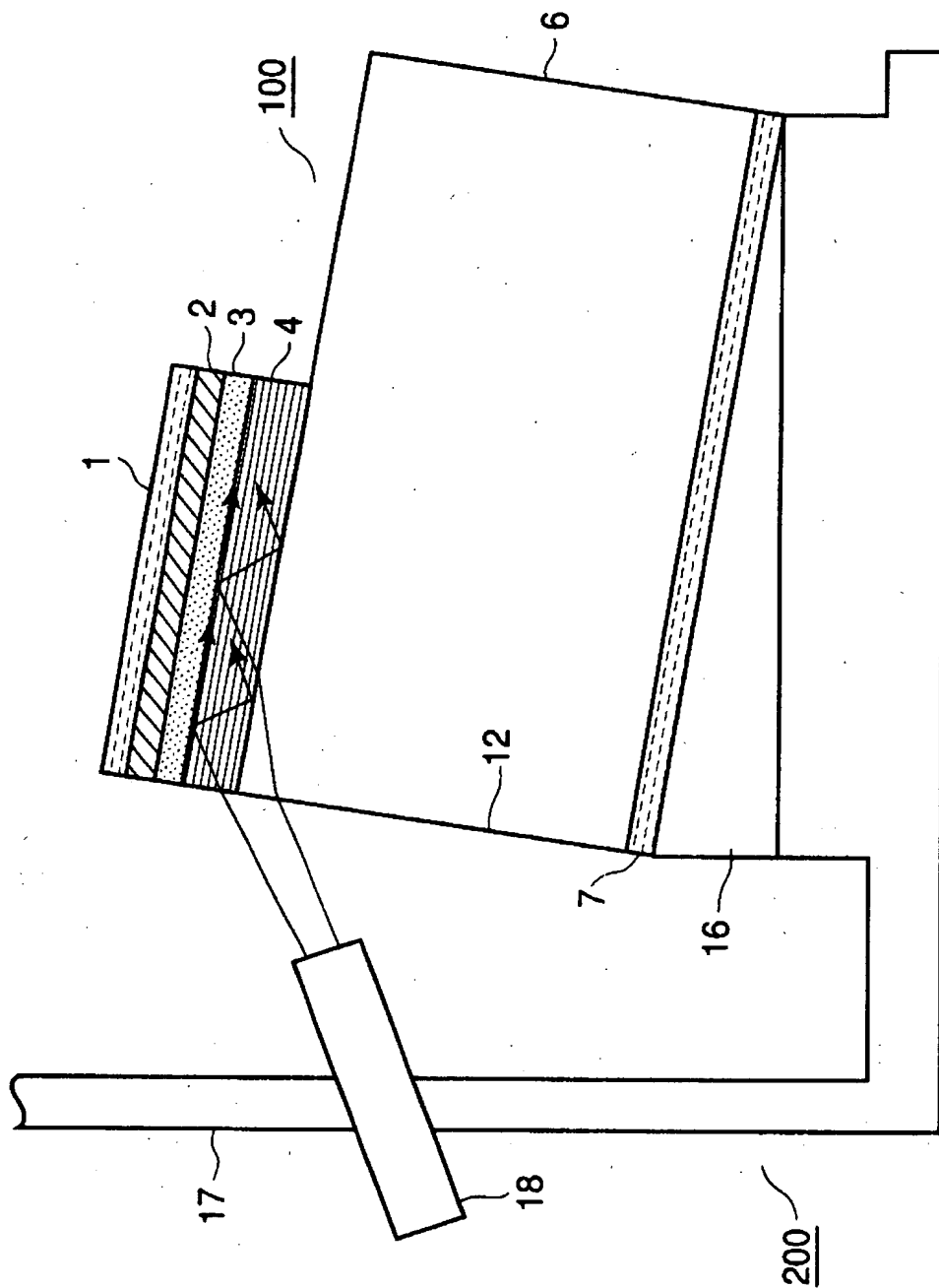
【図 6】



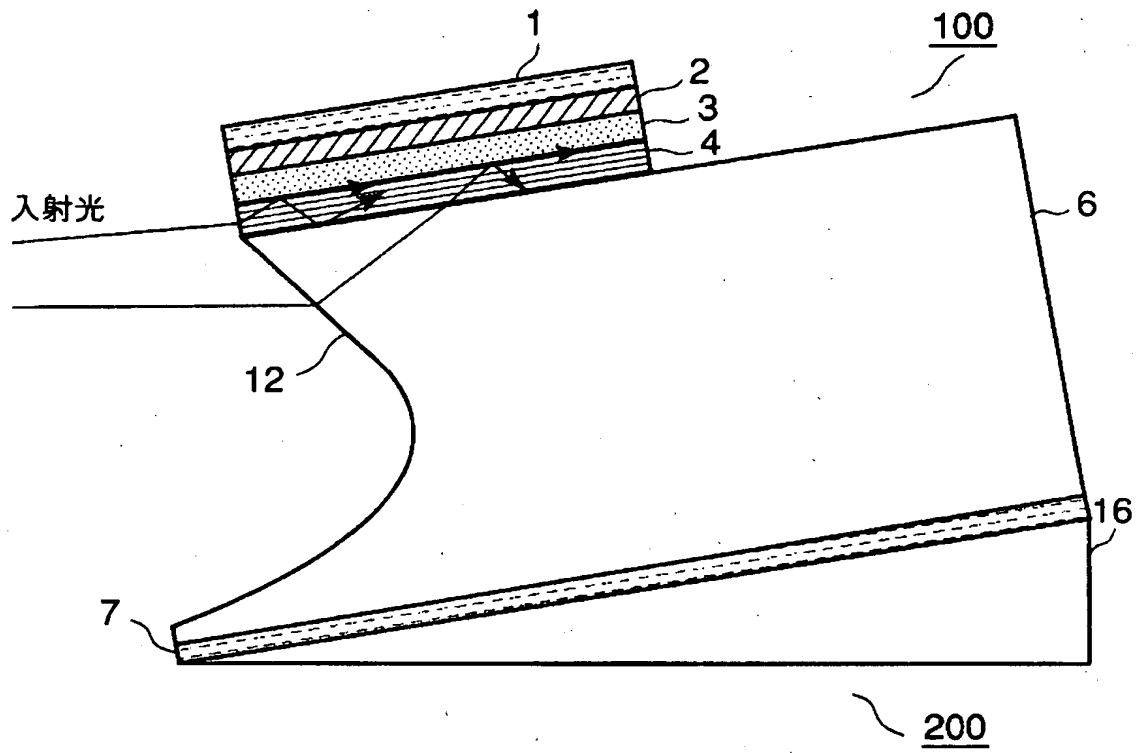
【図 7】



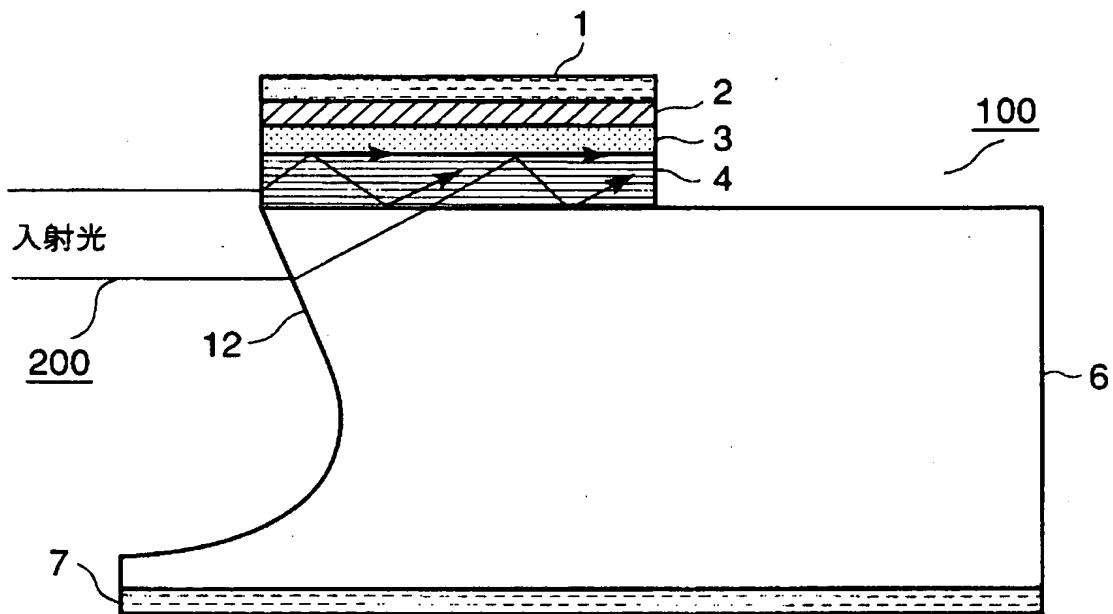
【図 8】



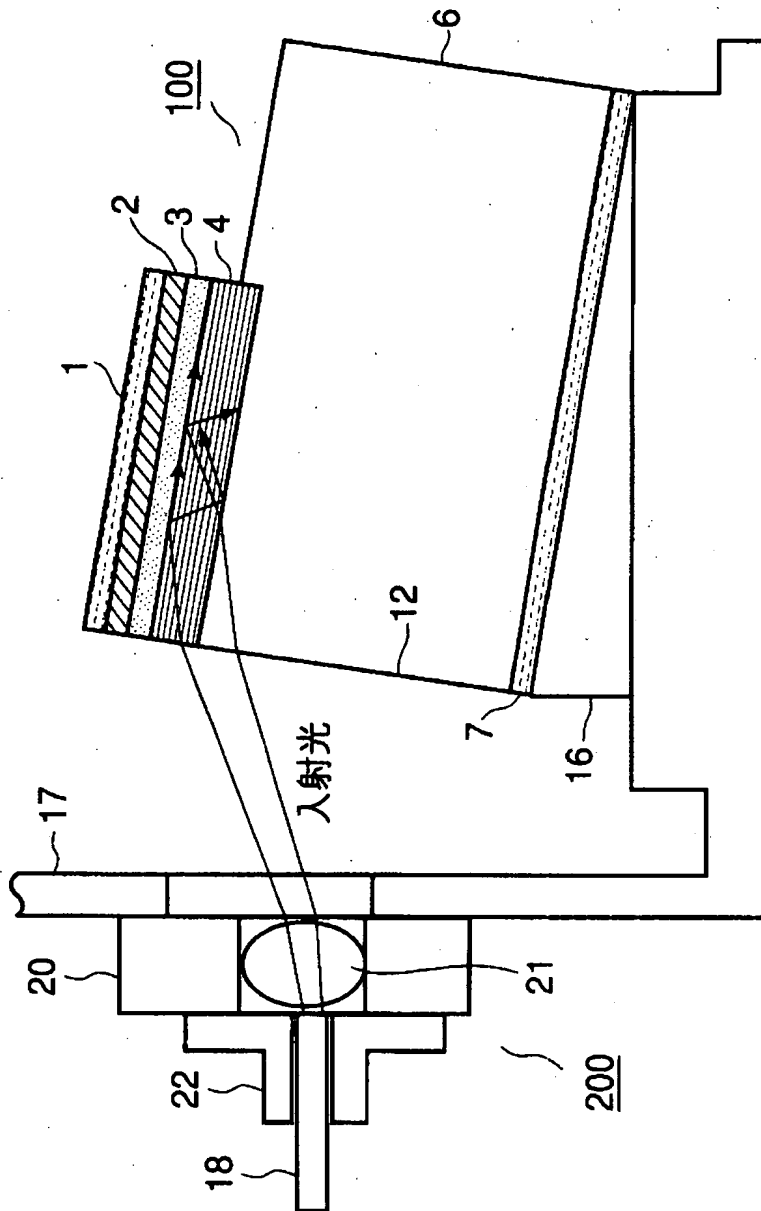
【図 9】



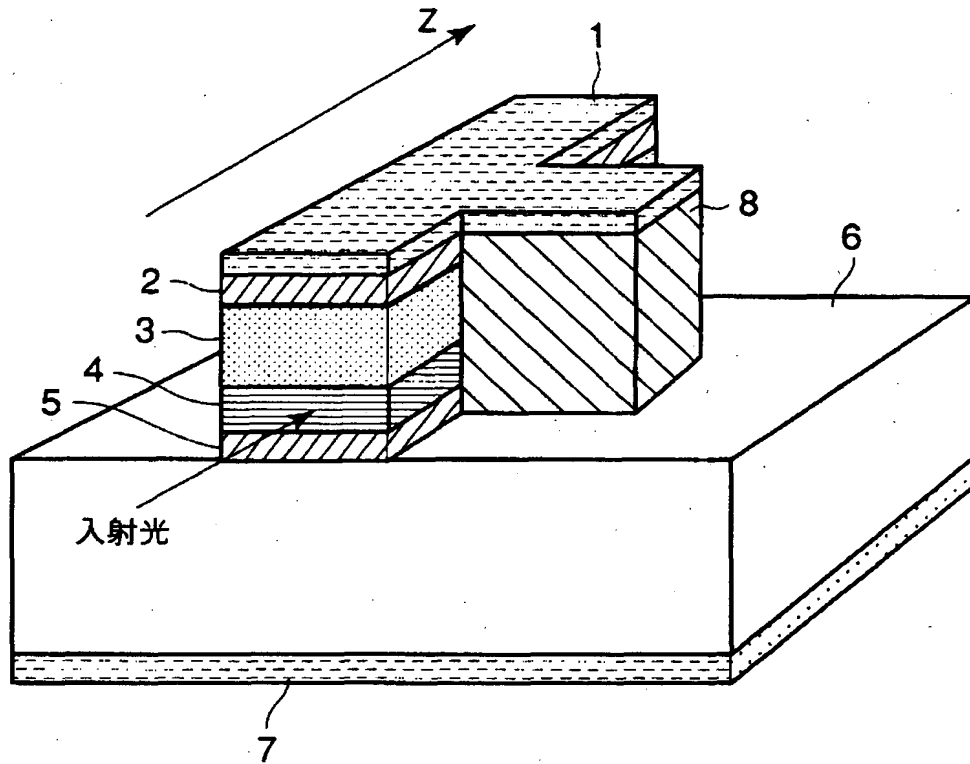
【図 1 0】



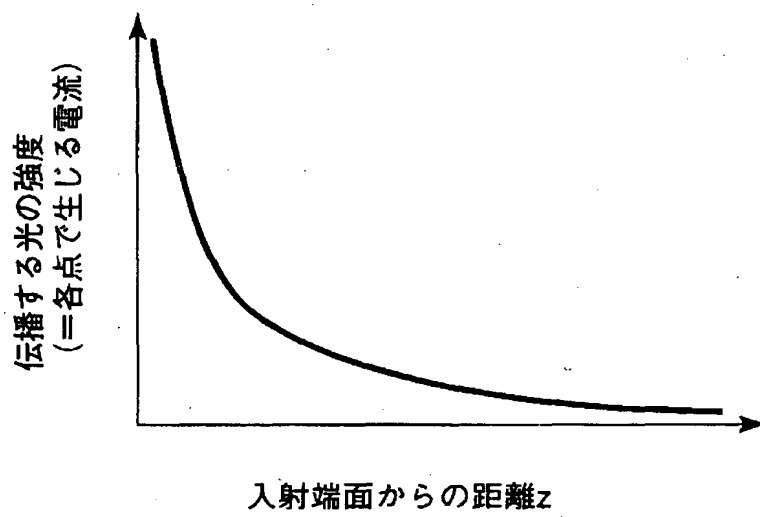
【図 11】



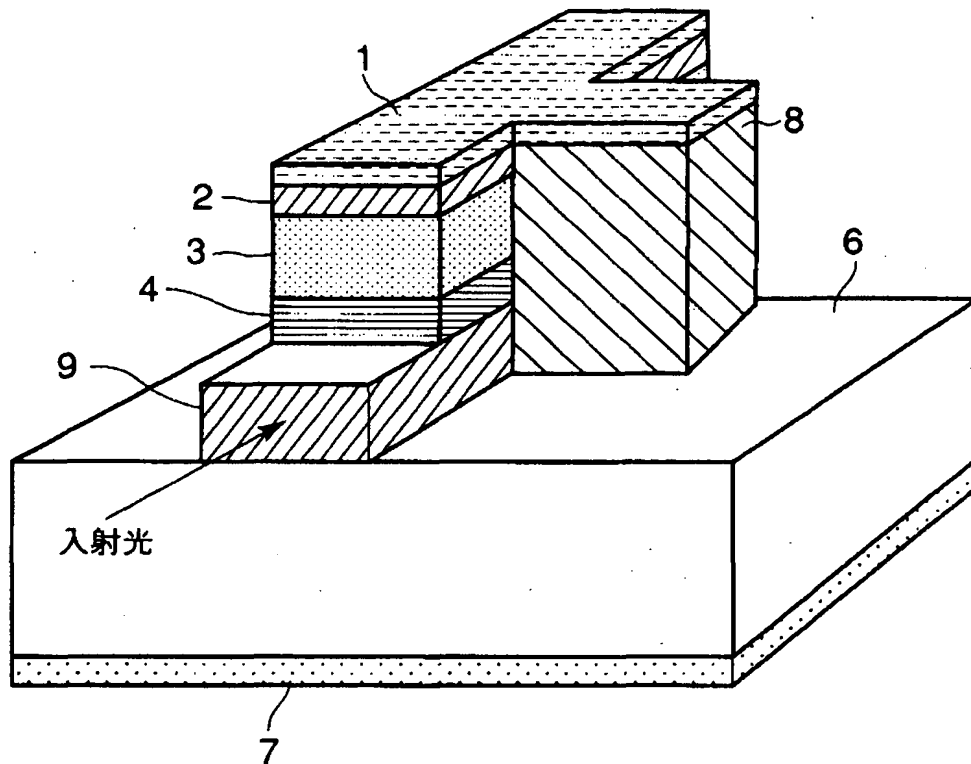
【図 12】



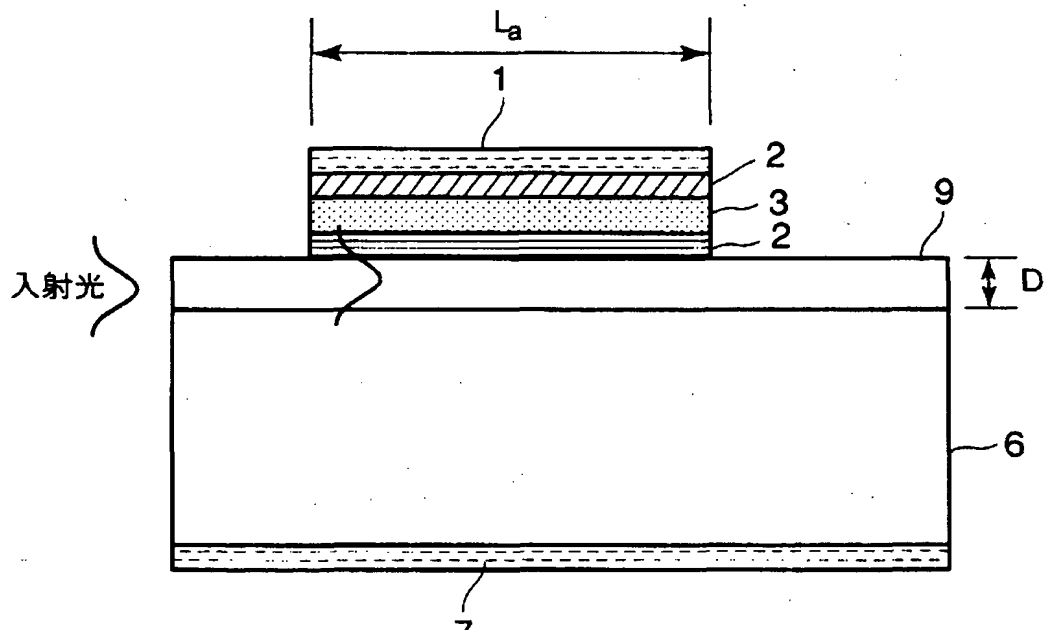
【図 13】



【図14】

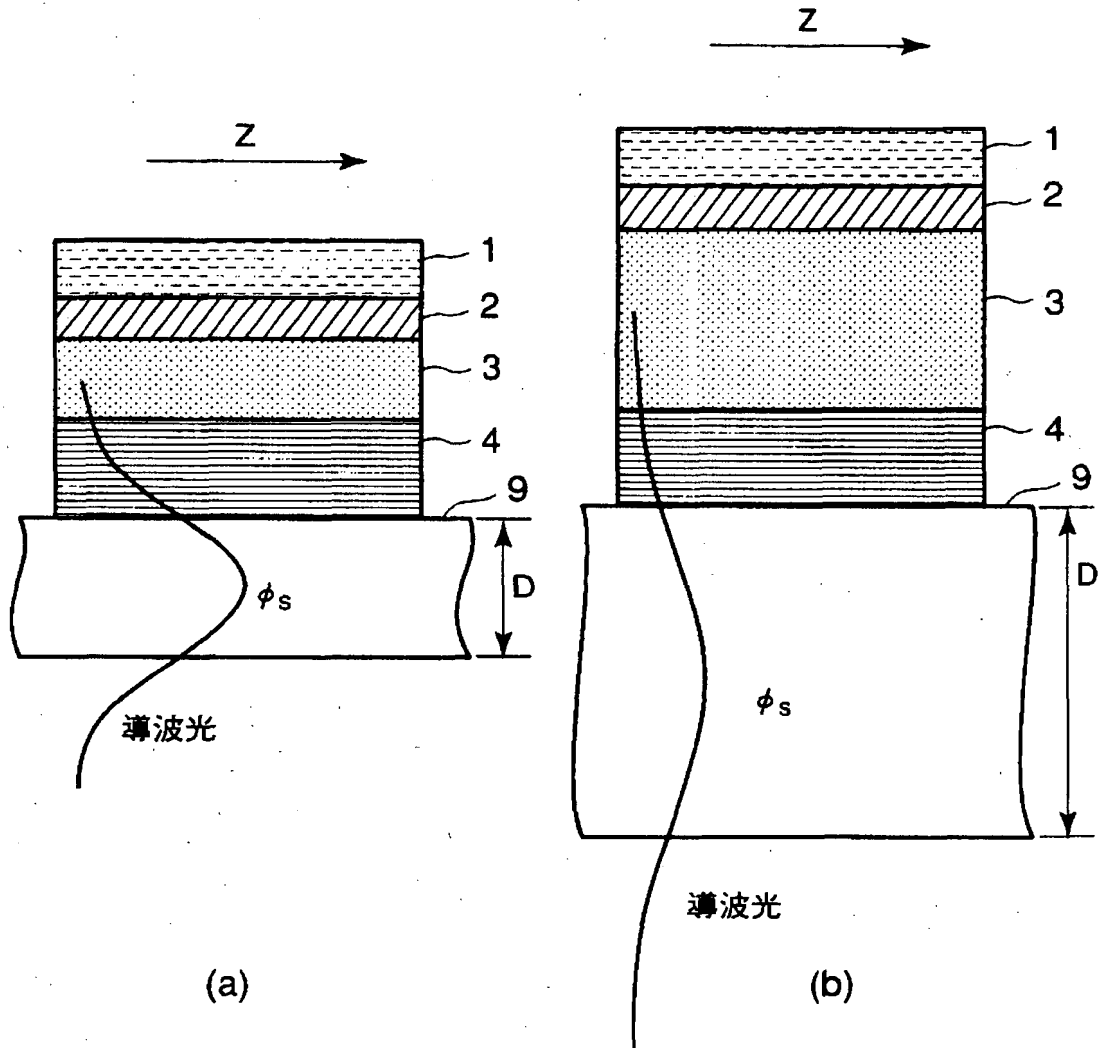


【図15】

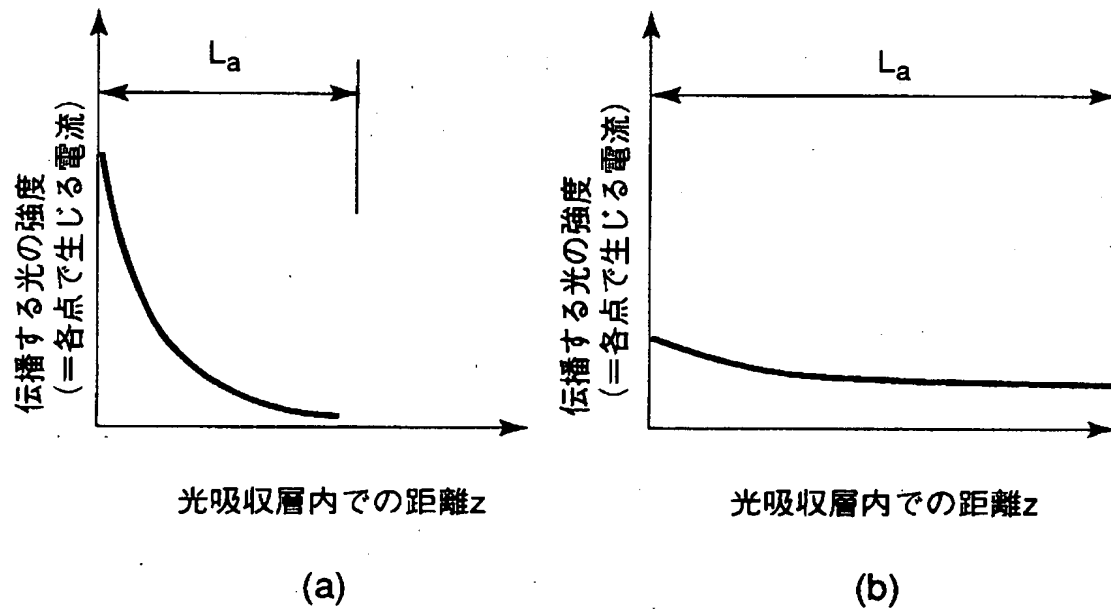




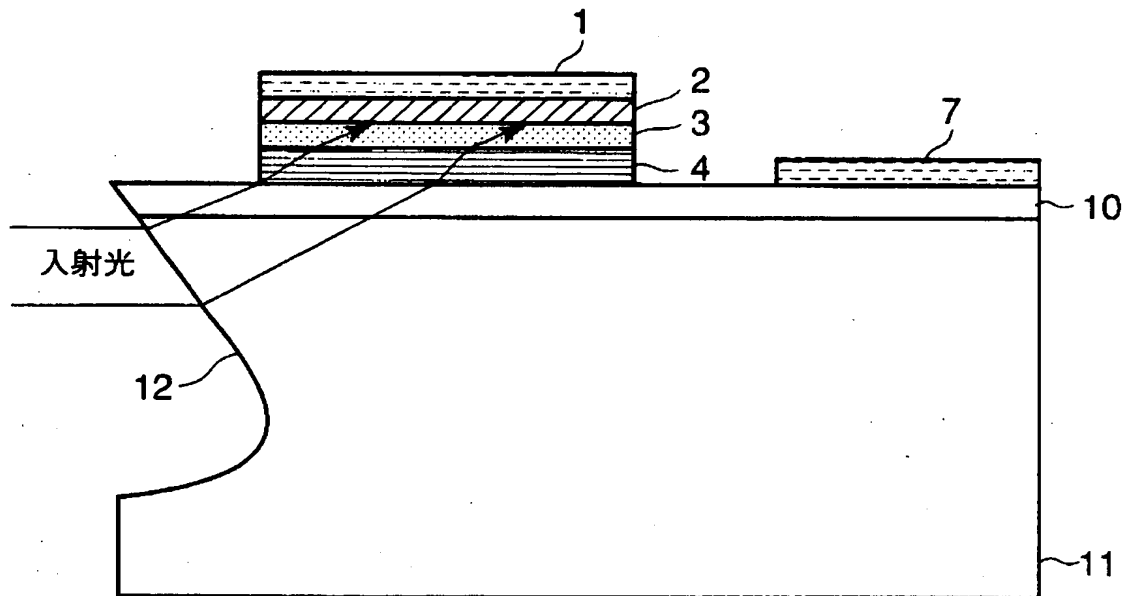
【図 1 6】



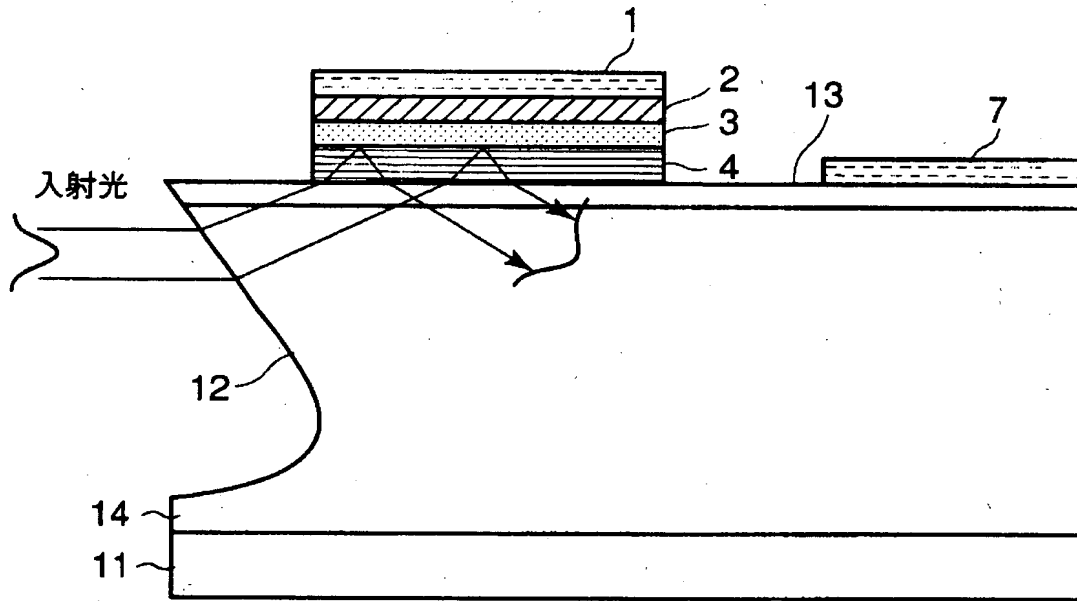
【図 17】



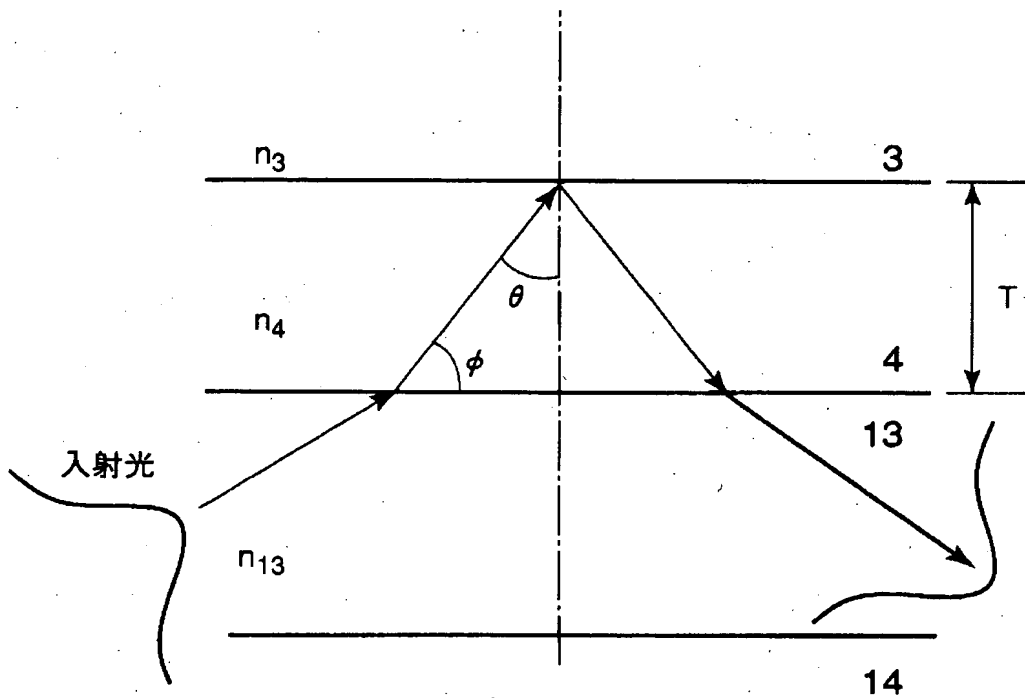
【図 18】



【図19】



【図20】



【書類名】                    要約書

【要約】

【課題】 本発明は、入射光指向装置により、半導体受光素子の光吸収層内へ入射させる光の伝搬路を調整することによって、光を効率的に光吸収層で電流に変換し得るようにし、半導体受光素子の受光感度、耐光入力性、高速応答性、暗電流特性を大幅に向上可能とした半導体受光モジュールを提供する。

【解決手段】 本発明の一態様によると、基板上に順次に形成された少なくとも光吸収層と上部クラッド層とを有し、前記基板と前記光吸収層の少なくとも一方の端面に形成された光入射端面から入射した光が前記光吸収層において吸収されることにより生じた電気信号を p 電極及び n 電極から外部に出力する半導体受光素子と、前記半導体受光素子の前記光入射端面に対して光を斜めに入射させると共に、前記光の少なくとも一部が前記光入射端面において前記光吸収層を照射するように指向させる入射光指向装置とを具備することを特徴とする半導体受光モジュールが提供される。

【選択図】            図 1

職権訂正履歴（職権訂正）

特許出願の番号	特願2003-143485
受付番号	50300844197
書類名	特許願
担当官	神田 美恵 7397
作成日	平成15年 5月26日

<訂正内容1>

訂正ドキュメント

明細書

訂正原因

職権による訂正

訂正メモ

【図面の簡単な説明】の内、【図19】と【図20】の先頭に句点があるため図説が認識されないなので句点で行換えをしました。

訂正前内容

【図18】

図18は、.....

。 【図19】

図19は、.....

。 【図20】

図20は、.....。

訂正後内容

【図18】

図18は、.....

。 【図19】

図19は、.....

。 【図20】

図20は、.....。

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000572]

1. 変更年月日 1990年 8月29日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都港区南麻布5丁目10番27号  
氏 名 アンリツ株式会社